

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

Attorney Docket No. 837.1969



IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Patent Application of:

Yoichi OIKAWA, et al.

Application No.:

Group Art Unit:

Filed: August 8, 2001

Examiner:

For: OPTICAL SWITCH

#2  
10/25/01  
M. P. Rudgen

**SUBMISSION OF CERTIFIED COPY OF PRIOR FOREIGN  
APPLICATION IN ACCORDANCE  
WITH THE REQUIREMENTS OF 37 C.F.R. §1.55**

Assistant Commissioner for Patents  
Washington, D.C. 20231

Sir:

In accordance with the provisions of 37 C.F.R. §1.55, the applicant(s) submit(s) herewith  
a certified copy of the following foreign application:

Japanese Patent Application No. 2001-059089

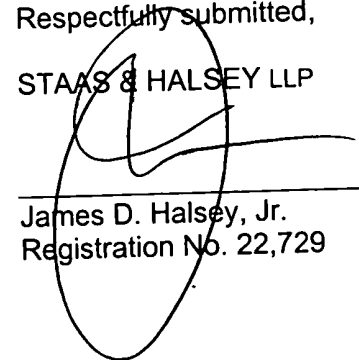
Filed: March 2, 2001

It is respectfully requested that the applicant(s) be given the benefit of the foreign filing  
date(s) as evidenced by the certified papers attached hereto, in accordance with the  
requirements of 35 U.S.C. §119.

Respectfully submitted,

STAAS & HALSEY LLP

Date: August 8, 2001

By:   
James D. Halsey, Jr.  
Registration No. 22,729

700 11th Street, N.W., Ste. 500  
Washington, D.C. 20001  
(202) 434-1500

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

J1033 U.S. PTO  
09/924606  
08/09/01

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application: 2001年 3月 2日

出 願 番 号

Application Number: 特願2001-059089

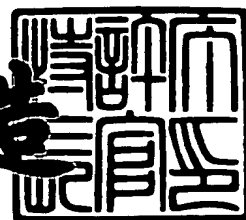
出 願 人

Applicant(s): 富士通株式会社

2001年 5月18日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2001-3042814

【書類名】 特許願

【整理番号】 0052731

【提出日】 平成13年 3月 2日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02F 01/00

【発明の名称】 光スイッチ

【請求項の数】 10

【発明者】

    【住所又は居所】 北海道札幌市北区北七条西四丁目 3 番地 1 富士通北海道デジタル・テクノロジー株式会社内

    【氏名】 及川 陽一

【発明者】

    【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社内

    【氏名】 黒柳 智司

【特許出願人】

    【識別番号】 000005223

    【氏名又は名称】 富士通株式会社

【代理人】

    【識別番号】 100075384

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 松本 昂

    【電話番号】 03-3582-7477

【手数料の表示】

    【予納台帳番号】 001764

    【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

    【物件名】 明細書 1

    【物件名】 図面 1

【物件名】            要約書    1  
【包括委任状番号】   9704374  
【プルーフの要否】    要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光スイッチ

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 複数のスイッチセルを備えた光スイッチであって、  
前記光スイッチは  $n$  ( $n$  は自然数) の入力と  $m$  ( $m$  は自然数) の出力とを有し

前記光スイッチは隣り合う二つのスイッチセル間の距離として定義される単位  
サイズを有し、

前記光スイッチは、

$K \cdot L$  ( $K$  は  $n \leq K$  を満たす整数、 $L$  は  $m \leq L$  を満たす整数) のスイッチサイ  
ズを有する基板と、

前記基板の主面に対して垂直で且つ互いに平行な第 1 及び第 2 のミラーと、

前記第 1 及び第 2 のミラーに対して傾斜した前記入力のための複数の入力光路  
並びに前記第 1 及び第 2 のミラーに対して傾斜した前記出力のための複数の出力  
光路を提供する光学ユニットとを備え、

各スイッチセルは前記基板に対して可動的に設けられたスイッチミラーを含む  
光スイッチ。

【請求項 2】 複数の入力ポートからの光を任意に複数の出力ポートに導く  
よう配置した可動可能な光反射部を有する複数の光路切換手段と、

該入力ポートからの光または該光反射部からの光を該出力ポートまたは該光反  
射部に向けて反射する反射手段を設けたことを特徴とする光スイッチ。

【請求項 3】 複数の入力ポートからの光を任意に複数の出力ポートに導く  
よう配置した可動可能な光反射部を有する複数の光路切換手段を設け、

該入力ポートからの該出力ポートまでの光路は全て同じ光路長にすることを特  
徴とした光スイッチ。

【請求項 4】 複数の入力ポートからの光を任意に複数の出力ポートに導く  
よう配置した可動可能な光反射部を有する複数の光路切換手段を設け、

該入力ポートからの該出力ポートまでの光損失が全て同じになるようにするこ  
とを特徴とした光スイッチ。

【請求項 5】 複数の光入力ポートと、

複数の光出力ポートと、

該複数の光入力ポートと該複数の光出力ポート間に設けられた可動可能な光反射部を有する複数の光路切換手段と、

該複数の光入力ポートと該複数の光出力ポート間で該複数の光路切換手段の外側に設けられ、入力ポートからの光または光路切換手段からの光を反射する反射手段とにより構成された光スイッチ。

【請求項 6】 複数の光入力ポートと、

複数の光出力ポートと、

該複数の光入力ポートと該複数の光出力ポート間に設けられた可動可能な光反射部を有する複数の光路切換手段と、

該複数の光入力ポートと該複数の光出力ポート間で該複数の光路切換手段を挟むように設けられ、入力ポートからの光または光路切換手段からの光を反射する反射手段とにより構成された光スイッチ。

【請求項 7】 複数の光入力ポートと、

複数の光出力ポートと、

該複数の光入力ポートと該複数の光出力ポート間に設けられた可動可能な光反射部を有する複数の光路切換手段とを設け、

該光路切換手段への該光入力ポートからの光入力とは隣接する該光路切換手段への光入力とは交差する方向にあることを特徴とする光スイッチ。

【請求項 8】 請求項 7 の光スイッチにおいて、

該複数の光入力ポートと該複数の光出力ポート間で該複数の光路切換手段を挟むように光入力ポートからの光または光路切換手段からの光を反射する反射手段をさらに設けたことを特徴とする光スイッチ。

【請求項 9】 複数の光入力ポートと、

複数の光出力ポートと、

該複数の光入力ポートと該複数の光出力ポート間に設けられた可動可能な光反射部を有する複数の光路切換手段とを設け、

該光入力ポートから最初に光が通過する該光路切換手段は隣接する該光路切換

手段と初期の動作状態が反転した状態にあることを特徴とする光スイッチ。

【請求項10】 請求項9の光スイッチにおいて、

該複数の光入力ポートと該複数の光出力ポート間で該複数の光路切換手段を挟むように光入力ポートからの光または光路切換手段からの光を反射する反射手段をさらに設けたことを特徴とする光スイッチ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は光スイッチに関し、特に、波長分割多重（WDM）を用いたフォトリックネットワークにおけるノード装置に適した光スイッチに関する。

【0002】

【従来の技術】

波長分割多重（WDM）システムは、伝送容量を飛躍的に増大することができる通信システムとして、開発及び実用化が進められている。WDMシステム同士を接続して、広大なフォトリックネットワークを構築するために、各装置間を光ファイバによりループ状に接続するリング型ネットワークが検討されている。

【0003】

リング型ネットワークでは、ネットワークの規模が大きくなると、ループ内の伝送容量が増大する。しかし、各ノードでは、比較的小規模な光スイッチを用いた処理で足りる。

【0004】

これに対して、メッシュ型ネットワークでは、ルート毎の伝送容量が少なくて済むのに対して、各ノードにおいて大規模な光スイッチを用いた処理が必要になる。

【0005】

また、リング型ネットワークだけでなく、一点対一点のシステムにおいては、従来、ノードにおいて低次群の信号を取り出すために電気スイッチが用いられていた。この電気スイッチを光スイッチにすることにより、ノード内のコストを削減することができるので、大規模な光スイッチは、様々な形態のネットワークに



において開発が進められている。

【 0 0 0 6 】

従来から実用化されている小規模な光スイッチとして、導波路型の光スイッチがある。導波路型光スイッチは、スイッチ素子と、スイッチ素子に接続される入力及び出力のためのファイバアレイとを備えている。

【 0 0 0 7 】

スイッチ素子を大規模化させるには、スイッチ素子上に形成される各スイッチセル自身の歩留まりを上げる必要があるが、製造トレランスが狭いのでこれは比較的難しい。また、損失要因は、スイッチセルでの損失と、入出力ファイバのスイッチ素子との接続部分における損失である。

【 0 0 0 8 】

従って、導波路型の光スイッチを大規模化させるためには、製造方法を改良することによる歩留まりの向上だけでなく、素子性能を各段にアップさせる必要がある。

【 0 0 0 9 】

一方、伝統的な技術として、光を空間的にスイッチングさせる構成が考えられる。光路を変更する素子として、反射ミラーを用いれば、導波路スイッチで問題となるオン／オフ比、クロストークなどの性能はほとんど問題ない。

【 0 0 1 0 】

しかし、スイッチの体積が大きくなるので、その大きさの観点から大規模化が困難であった。

【 0 0 1 1 】

このような状況を打破するために、最近、この空間スイッチを半導体技術で小さくするようにした技術が開発されている。この技術は、MEMS (Micro Electro Mechanical System) と称され、特に光分野に適用したものは光MEMSと言われることもある。

【 0 0 1 2 】

MEMSによる光スイッチは、小さなミラーを半導体製造技術で基板上に作製し、静電気によりこのミラーを立ち上げて、光路を切り換えるというものである

【0013】

尚、MEMSに関しては、IEEE Photonic Technology Letters, vol. 10, No. 4, APRIL 1998, PP525-527を参照されたい。

【0014】

【発明が解決しようとする課題】

MEMSによる光スイッチは、ミラーを用いているので、スイッチ性能は導波路型よりも優れており、且つ、サイズも導波路型と同等に小さい。しかしながら、後述するようにスイッチングパスによる光路長が異なるので、損失にパス依存性がある。また、空間結合なので、大規模化したときに光路長が長くなると、ビーム広がりによる損失増加も懸念される。

【0015】

よって、本発明の目的は、小型化に適した光スイッチを提供することである。

【0016】

本発明の他の目的は、損失にパス依存性のない光スイッチを提供することである。

【0017】

本発明のさらに他の目的は、以下の説明から明らかになる。

【0018】

【課題を解決するための手段】

本発明によると、複数のスイッチセルを備えた光スイッチが提供される。光スイッチは $n$  ( $n$ は自然数)の入力と $m$  ( $m$ は自然数)の出力とを有し、また、光スイッチは隣り合う二つのスイッチセル間の距離として定義される単位サイズを有する。光スイッチは、 $K \cdot L$  ( $K$ は $n \leq K$ を満たす整数、 $L$ は $m \leq L$ を満たす整数)のスイッチサイズを有する基板と、基板の主面に対して垂直で且つ互いに平行な第1及び第2のミラーと、第1及び第2のミラーに対して傾斜した入力のための複数の入力光路並びに第1及び第2のミラーに対して傾斜した出力のための複数の出力光路を提供する光学ユニットとを備えている。各スイッチセルは基

板に対して可動的に設けられたスイッチミラーを含む。

【 0 0 1 9 】

本発明の他の側面によると、複数の入力ポートからの光を任意に複数の出力ポートに導くよう配置した可動可能な光反射部を有する複数の光路切換手段と、該入力ポートからの光または該光反射部からの光を該出力ポートまたは該光反射部に向けて反射する反射手段を設けたことを特徴とする光スイッチが提供される。

【 0 0 2 0 】

本発明の他の側面によると、複数の入力ポートからの光を任意に複数の出力ポートに導くよう配置した可動可能な光反射部を有する複数の光路切換手段を設け、該入力ポートからの該出力ポートまでの光路は全て同じ光路長にすることを特徴とした光スイッチが提供される。

【 0 0 2 1 】

本発明の他の側面によると、複数の入力ポートからの光を任意に複数の出力ポートに導くよう配置した可動可能な光反射部を有する複数の光路切換手段を設け、該入力ポートからの該出力ポートまでの光損失が全て同じになるようにすることを特徴とした光スイッチが提供される。

【 0 0 2 2 】

本発明の他の側面によると、複数の光入力ポートと、複数の光出力ポートと、該複数の光入力ポートと該複数の光出力ポート間に設けられた可動可能な光反射部を有する複数の光路切換手段と、該複数の光入力ポートと該複数の光出力ポート間で該複数の光路切換手段の外側に設けられ、入力ポートからの光または光路切換手段からの光を反射する反射手段とにより構成された光スイッチが提供される。

【 0 0 2 3 】

本発明の他の側面によると、複数の光入力ポートと、複数の光出力ポートと、該複数の光入力ポートと該複数の光出力ポート間に設けられた可動可能な光反射部を有する複数の光路切換手段と、該複数の光入力ポートと該複数の光出力ポート間で該複数の光路切換手段を挟むように設けられ、入力ポートからの光または光路切換手段からの光を反射する反射手段とにより構成された光スイッチが提供

される。

【 0 0 2 4 】

本発明の他の側面によると、複数の光入力ポートと、複数の光出力ポートと、該複数の光入力ポートと該複数の光出力ポート間に設けられた可動可能な光反射部を有する複数の光路切換手段とを設け、該光路切換手段への該光入力ポートからの光入力とは隣接する該光路切換手段への光入力とは交差する方向にあることを特徴とする光スイッチが提供される。

【 0 0 2 5 】

本発明の他の側面によると、複数の光入力ポートと、複数の光出力ポートと、該複数の光入力ポートと該複数の光出力ポート間に設けられた可動可能な光反射部を有する複数の光路切換手段とを設け、該光入力ポートから最初に光が通過する該光路切換手段は隣接する該光路切換手段と初期の動作状態が反転した状態にあることを特徴とする光スイッチが提供される。

【 0 0 2 6 】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の望ましい実施形態を添付図面を参照して詳細に説明する。

【 0 0 2 7 】

図 1 を参照すると、MEMSを用いた従来の光スイッチが示されている。この光スイッチは、4つの入力チャネル# 1 ～ # 4 と4つの出力チャネル# 1 ～ # 4 とを互いに直交するように配置し、各入力チャネルと各出力チャネルとが任意に光学的に結合されるように16個のスイッチセルを配置して構成されている。スイッチセルは、4×4の格子位置に設けられている。

【 0 0 2 8 】

各スイッチセルは、小さなミラーを半導体製造技術で基板上に作製し、静電力によりこのミラーを駆動して光路を切り換えることができるようになっている。例えば、スイッチセルは、ミラーが基板の主面（紙面に平行）に平行な第1の状態と、ミラーが主面に垂直な第2の状態とを切り換えることができる。

【 0 0 2 9 】

この光スイッチにあっては、ミラーを用いているので、スイッチ性能は導波路

型よりも優れており、しかも、サイズを導波路型と同等に小さくすることができる。しかし、図 1 に示されるように、スイッチングパスにより光路長が異なることに起因して、損失にパス依存性がある。また、空間結合であるので、大規模化した際に光路長が長くなると、ビーム広がりによる損失増加も懸念される。

## 【 0 0 3 0 】

図 2 を参照すると、パス無依存型の従来の光スイッチが示されている。この光スイッチは、4 つの入力チャネル # 1 ～ # 4 と 4 つの出力チャネル # 1 ～ # 4 とを概ね平行に配置し、これらの間に 1 6 個のスイッチセルをマトリクス状に設けて構成されている。1 6 個のスイッチセルは、4 つの  $1 \times 2$  スwitchセルと 8 つの  $2 \times 2$  スwitchセルと 4 つの  $2 \times 1$  スwitchセルとを含む。スイッチセルは導波路基板上に一括して作成することができる。

## 【 0 0 3 1 】

この光スイッチでは、スイッチセル相互間の接続を適切に行うことによって、入力チャネルと出力チャネルとの間の損失がパスに依存しなくなる。

## 【 0 0 3 2 】

図 1 に示される光スイッチでは、各入力チャネルと各出力チャネルは 1 回の  $90^\circ$  反射によって光学的に結合される。従って、図 1 に示される光スイッチでは、光導波路では比較的自由に設定し得る図 2 に示されるような光路設定を行うことができない。損失のパス依存性は、光スイッチの規模が大きくなるのに従って致命的になるので、図 1 に示されるような反射型のスイッチセルを用いて構成される光スイッチにおいて、損失のパス依存性を排除することが切望されている。

## 【 0 0 3 3 】

図 3 は本発明による光スイッチの斜視図である。この光スイッチは、MEMS によって形成された 1 6 個のスイッチセル（光路切換手段）を一体に有する基板 2 と、基板 2 の主面 2 A に対して垂直で且つ互いに平行なミラー 4 及び 6 と、入力チャネル（入力ポート） # 1 ～ # 4 のための入力光路 P 1 及び出力チャネル（出力ポート） # 1 ～ # 4 のための出力光路 P 2 を提供する光学ユニット 8 とを備えている。

## 【 0 0 3 4 】

光学ユニット 8 は、入力チャネル # 1 ～ # 4 にそれぞれ対応して設けられた光ファイバ 10 と、出力チャネル # 1 ～ # 4 にそれぞれ対応して設けられた光ファイバ 12 とを含み、光ファイバ 10 と光ファイバ 12 との間には図示しないレンズによってコリメート光学系が形成されている。光ファイバ 10 は、入力光路 P1 が互いに平行で且つミラー（反射手段）4 及び 6 に対して傾斜するように設けられており、光ファイバ 12 は、出力光路 P2 が互いに平行で且つミラー 4 及び 6 に対して傾斜するように設けられている。ここでは、光ファイバ 10 及び 12 は同一平面上で平行になるように設けられている。

## 【0035】

スイッチセルは基板 2 の主面 2A 上に設けられている。各スイッチセルは、基板 2 に対して可動的に設けられたスイッチミラー 14 を含み、スイッチミラー 14 が主面 2A に平行な第 1 の状態とスイッチミラー 14 が主面 2A に垂直な第 2 の状態とを切り換えることができる。ここでは、第 2 の状態では、スイッチミラー 14 はミラー 4 及び 6 に対して平行である。

## 【0036】

この光スイッチにおいては、最も近接する 2 つのスイッチセル間の距離を単位サイズとして定義するとき、基板 2 は  $4 \times 4$  のスイッチサイズを有している。16 個のスイッチセルは  $4 \times 4$  の格子位置に設けられる。基板 2 はスイッチサイズより大きいものでもよい。

## 【0037】

この構成によると、後で種々の光路を検討するとわかるように、スイッチングパスによらず光路長を一定にすることができ、パスによる損失変動をなくすることができる。

## 【0038】

図 4 の (A) 及び (B) を参照すると、図 3 に示される光スイッチにおけるパスの設定例が示されている。図 4 の (A) には、入力チャネル # 1 ～ # 4 がそれぞれ出力チャネル # 1 ～ # 4 に接続される場合が示されている。この場合、第 3 行第 1 列及び第 2 列並びに第 2 行第 3 列及び第 4 列のスイッチセルが第 2 状態にされ、それ以外のスイッチセルは第 1 状態である。

## 【0039】

図4の(B)には、入力チャネル#1～#4がそれぞれ出力チャネル#4～#1に接続される場合が示されている。この場合、第1行第1列及び第2列、第3行第1列及び第4列並びに第4行第2列及び第4列のスイッチセルが第2状態にされ、それ以外のスイッチセルは第1状態である。このように、図3に示されるような光スイッチの構成によると、固定されているミラー4及び6と各スイッチセルのスイッチミラー14とにより任意のパスを張ることができ、非閉塞の光スイッチの提供が可能になる。

## 【0040】

図5及び図6は図3に示される光スイッチにおけるパスの全ての設定例を示す図であり、その見方は図4の(A)及び(B)と同じである。

## 【0041】

ここでは、4入力4出力であるので、スイッチサイズは、最も近接する2つのスイッチセル間の距離として定義される単位サイズを1とすると、 $4 \times 4$ となる。また、光路長は、一つのスイッチセルの対角長を1とすると、全ての場合4になる。ミラー面での反射回数は、2回、4回、0回の3通りである。スイッチセルは16個あり、そのうち、図中で下向きのみミラーを有するスイッチセルが5個、上向きのみミラーを有するスイッチセルが5個、両方向のミラーを有するスイッチセルが6個である。

## 【0042】

図7の(A)を参照すると、3入力3出力の場合における全スイッチング状態が模式的に示されている。スイッチサイズは $3 \times 3$ 、光路長は3である。ミラー面での反射回数は、2回、4回、0回の3通りである。スイッチセルは9個で、そのうち、下向きのみミラーを有するスイッチセルが4個、上向きのみミラーを有するスイッチセルが4個、両方向のミラーを有するスイッチセルが1個である。

## 【0043】

図7の(B)を参照すると、2入力2出力の場合での全スイッチング状態(2通り)が示されている。この場合、スイッチサイズは $2 \times 2$ であり、光路長は、

一つのスイッチセルの対角長を 1 とすると、2 である。ミラー面での反射回数は、2 回、1 回の 2 通りである。スイッチセルは 4 個であり、そのうち、下向きのみのミラーを有するスイッチセルが 2 個、上向きのみのミラーを有するスイッチセルが 2 個である。

## 【0 0 4 4】

図 8 は  $n$  ( $n$  はここでは 2 より大きい整数) 入力  $n$  出力の場合におけるスイッチセルの配置を説明するための図である。スイッチサイズは  $n \times n$  であり、光路長は、一つのスイッチセルの対角長を 1 とするときに、 $n$  となる。スイッチセルのミラー面での反射回数は、2 回、4 回、0 回の 3 通りである。スイッチセルの数は  $n^2$  個であり、そのうち、下向きのみのミラーを有するスイッチセルが  $(n + 1)$  個、上向きのみのミラーを有するスイッチセルが  $(n + 1)$  個、両方向のミラーを有するスイッチセルが  $(n^2 - 2n - 2)$  である。

## 【0 0 4 5】

$i$  行  $j$  列のスイッチセルは、第 1 の状態では、受けた光を  $(i - 1)$  行  $(j + 1)$  列のスイッチセルへ向けて透過し、第 2 の状態においては、 $(i + 1)$  行  $(j + 1)$  列のスイッチセルへ反射する。

## 【0 0 4 6】

これまでの実施形態では、行方向に隣り合う 2 つのスイッチセル間の距離と列方向に隣り合う 2 つのスイッチセル間の距離とは等しく、入射角度は  $45^\circ$  である。本発明は入射角度が  $45^\circ$  であることによって限定されない。

## 【0 0 4 7】

例えば、図 9 に示されるように、入射角度が  $30^\circ$  である場合には、行方向に隣り合う 2 つのスイッチセル間の間隔を列方向に隣り合う 2 つのスイッチセル間の間隔の 2 倍にすれば良い。

## 【0 0 4 8】

さらに、任意の入射角度 ( $\theta_i$ ) の場合には、図 10 に示されるように、行方向の間隔と列方向の間隔とを  $1 : \tan(\theta_i)$  にすれば良い。

## 【0 0 4 9】

一方、第 1 行のスイッチセルとミラー 4 との間の距離  $d_m$  は、行方向に隣り合



う2つのスイッチセル間の間隔を  $a$  とするとき、 $d_m = (1/2) \cdot a \cdot \tan \theta_i$  となる。

## 【0050】

本発明による光スイッチは拡張性を有している。例えば、図3に示される4入力4出力用の基板2を4つ用いて8入力8出力の光スイッチを得ることができる。

## 【0051】

図11に示されるように、 $4 \times 4$ の基板2を4つ並べ、これらを共通のミラー4及び6により挟み込むことによって、8入力8出力の光スイッチを得ることができる。

## 【0052】

尚、各スイッチセルとしては、MEMSを用いて構成されるもののほか、流体を用いた反射型光スイッチを用いることもできる。この光スイッチは、ある屈折率を有する固体の内部に形成された空洞に気泡を含む液体を密閉し、ヒーター等を用いて気泡を移動させるようにして構成される。液体の屈折率は固体の屈折率にほぼ同じに設定される。従って、空洞を貫くように光路を設定しておくことによって、気泡の有無によって透過と全反射とを切り換えることができる。

## 【0053】

図12の(A)及び(B)を参照すると、光導波路として提供される $4 \times 4$ 光スイッチ及び $8 \times 8$ 光スイッチがそれぞれ示されている。各光スイッチはパス無依存型である。

## 【0054】

各スイッチセルは本発明における第1の状態に対応するクロス状態と第2の状態に対応するバー状態とを切り換える。また、スイッチセルを表す丸の中に示されている(13)及び(23)等の数字は、入力及び出力を関連付けている。例えば(13)は入力チャンネル#1と出力チャンネル#3を接続するスイッチエレメントであることを示している。また、各スイッチエレメントは、電氣的なオフ状態でクロス状態を維持し、電氣的にオンになるとバー状態となる。

## 【0055】

図 1 3 の (A) は、図 1 2 の (A) に示される光スイッチの論理構成を本発明に適用したものである。具体的には、入力光路の奇数チャネル及び偶数チャネルが交差しており、出力光路の奇数チャネル及び偶数チャネルが交差している。

【 0 0 5 6 】

LN (LiNbO<sub>3</sub>) 等の光導波路では、このような交差が存在していても製造技術上特に問題は生じないが、光ファイバアレイ等を用いて入力光路及び出力光路を提供させる場合、交差させることが製造技術上困難になることがある。そこで、図 1 3 の (A) に示される論理構成を維持したまま、上述のような製造技術上の問題を排除させたものが、図 1 3 の (B) に示されている。

【 0 0 5 7 】

ここでは、入力光路は互いに平行であり、出力光路も互いに平行である。ここでは、奇数チャネルの入力側のスイッチセルと奇数チャネルの出力側のスイッチセルの論理を反転させるか、或いは偶数チャネルの入力側のスイッチセルと偶数チャネルの出力側のスイッチセルの論理を反転させることにより、通常時にはスイッチセルで光を反射させ、そのスイッチセルをアクティブにしてパスを張る場合には、光を反射させないようにしている。

【 0 0 5 8 】

図 1 3 の (A) 及び (B) の各々において、上向きに反射させるスイッチセルの個数は 8、下向きに反射させるスイッチセルの個数は 8 である。また、図 1 3 の (A) において、スイッチセルでの反射回数は、1 回、2 回、3 回の 3 通りであり、図 1 3 の (B) に示される構成では、スイッチセルでの反射回数は、0 回、2 回、4 回の 3 通りである。

【 0 0 5 9 】

さらに、図 1 2 の (A) に示される構成においては、各スイッチミラーは通常は第 1 の状態にあり、アクティブにしてパスを張るときに第 2 の状態となる。図 1 2 の (B) では、丸印で囲まれたスイッチセルは通常は第 2 の状態で、パスを張るときに第 1 の状態となり、その他のスイッチセルは図 1 2 の (A) と同じである。

【 0 0 6 0 】

図14の(A)及び(B)にそれぞれ図13の(A)及び(B)に示される光スイッチの動作例を示し、図15及び図16にそれぞれ図13の(A)及び(B)に示される4×4光スイッチと同様に構成される8×8光スイッチの構成を示しておく。

【0061】

このように、本発明によると、パス依存性がなく且つ非閉塞な光スイッチの提供が可能になる。

【0062】

ところで、光MEMSを用いた光スイッチでは、入力と出力の間が空間結合であるので、光路長が長くなると光ビームの拡大に伴って損失が大きくなる可能性がある。本発明では、光路の中間位置でビームを絞り込むことができる。まず、これを図17の(A)及び(B)により4入力4出力の場合について説明する。

【0063】

図17の(A)及び(B)は、球レンズを付加した本発明による4入力4出力の光スイッチの動作を説明するための図である。一つのスイッチセルの大きさを1とすると、この光スイッチのスイッチサイズは4×5であり、光路長は、一つのスイッチセルの対角長を1とすると、5となる。ここでは、3列目に4個の球レンズが設けられている。

【0064】

図17の(A)に示される状態では、入力チャネル#1～#4はそれぞれ出力チャネル#1～#4に接続され、図17の(B)に示される状態では、入力チャネル#1～#4はそれぞれ出力チャネル#4～#1に接続される。

【0065】

図18及び図19は図17の(A)及び(B)に示される光スイッチの24種類の全スイッチング状態を模式的に示す図である。スイッチセルの数は16であり、そのうち、下向きのみ反射ミラーを有するスイッチセルが4個、上向きのみ反射ミラーを有するスイッチセルが4個、両方向の反射ミラーを有するスイッチセルが8個である。8個のうち5個は、同時に両方向の反射を行う。この場合、反射ミラーが厚いと、2つの入射ビームに対して同時に所定の反射点で反射

させることが困難になるので、反射ミラーの厚みをスイッチ規模に応じて薄くすることが望ましい。

## 【 0 0 6 6 】

図 2 0 は、図 1 8 及び図 1 9 に準じて、本発明による 3 入力 3 出力の光スイッチの全スイッチング状態（6 種類）を模式的に示す図である。スイッチサイズは、一つのスイッチセルの大きさを 1 とすると、 $3 \times 4$  である。光路長は、一つのスイッチセルの対角長を 1 とすると、4 である。ミラー面での反射回数は、2 回、4 回の 2 通りである。スイッチセルの数は 9 であり、そのうち、下向きのみ反射ミラーを有するスイッチセルが 3 個、上向きのみ反射ミラーを有するスイッチセルが 3 個、両方向の反射ミラーが 3 個である。

## 【 0 0 6 7 】

図 2 1 は、図 1 7 の（A）及び（B）、図 1 8、図 1 9 並びに図 2 0 に示される本発明による光スイッチにおける一般的な配置形態を説明するための図である。n（n は 2 より大きい整数）入力 n 出力の光スイッチにおけるスイッチセル及び球レンズの配置が示されている。

## 【 0 0 6 8 】

この光スイッチは、n が偶数であるときに、 $(n/2 + 1)$  列目に設けられた n 個のレンズを有しており、n が奇数であるときに、 $((n+1)/2 + 1)$  列目に設けられた n 個のレンズを有している。図 1 9 は n が偶数であるとして図示されている。

## 【 0 0 6 9 】

スイッチサイズは、一つのスイッチセルの大きさを 1 とすると、 $n(n+1)$  であり、光路長は、一つのスイッチセルの対角長を 1 とすると、 $(n+1)$  である。ミラー面での反射回数は、2 回、4 回、6 回の 3 通り或いはこれらから選ばれる 2 通りである。スイッチセルの数は  $n^2$  であり、そのうち、下向きのみ反射ミラーを有するスイッチセルが n 個（一列目）、上向きのみ反射ミラーを有するスイッチセルが n 個（n 列目）、両方向反射のミラーを有するスイッチセルが  $(n^2 - 2n)$  個（他）である。

## 【 0 0 7 0 】

n が偶数である場合、各球レンズに対して入力側及び出力側の光路が等しくなるので、レンズ光学系の設計が容易である。

【0071】

次に、ロッドレンズを適用可能な本発明による光スイッチを説明する。図17の(A)及び(B)、図18～21で説明した実施形態においては、一つのレンズを通過する光路が異なる方向で2つ存在するので、球レンズ等の異方性のないレンズの使用が必要である。これに対して、以下に説明する実施形態では、一つのレンズを通過する光路が一つになるようにして、レンズの実装を容易にするとともに、光軸調整を容易にしている。ロッドレンズの位置合わせの許容度は一般的に球レンズのそれよりも大きい。

【0072】

図22はロッドレンズを適用した本発明による4入力4出力の光スイッチを示している。スイッチサイズは、スイッチセルの大きさを1とすると、5×6であり、光路長は一つのスイッチセルの対角長を1とすると、6になる。そして、スイッチセルが設けられている基板2（図3参照、ここでは図示せず）の対角線上には8個のロッドレンズが交互に逆方向に偏って配列されている。

【0073】

スイッチセルの数は20であり、そのうち、下向きのみ反射ミラーが6個、上向きのみ反射ミラーが6個、両方向の反射ミラーが8個である。この実施形態では、両方向ともに同時に反射するためのミラーは必要ない。ミラー面での反射回数は、2回、4回の2通りである。8個のロッドレンズは2～5列目に各々2個ずつ斜めに設けられている。入力光路及び出力光路の向きが右上がりである場合、各ロッドレンズは右下がりに配置される。

【0074】

図23及び図24は図22に示される光スイッチの24種類の全スイッチング状態を模式的に示したものである。

【0075】

また、図25は、図22に示される光スイッチに準じて構成される3入力3出力の光スイッチにおける6種類の全スイッチング状態を模式的に示した図である。

。スイッチサイズは、一つのスイッチセルの大きさを1とすると、 $4 \times 5$ であり、光路長は、一つのスイッチセルの対角長を1とすると、5である。ミラー面での反射回数は、2回、4回の2通りである。スイッチセルの数は12であり、そのうち、下向きのみ反射ミラーが5個、上向きのみ反射ミラーが5個、両方向の反射ミラーが2個である。尚、全てのロッドレンズが図示されずに、ロッドレンズの存在領域が示されている場合もある。

## 【0076】

図26は、図22に示される光スイッチに準じて構成される2入力2出力の光スイッチにおける全2種類のスイッチング状態を模式的に示した図である。スイッチサイズは、一つのスイッチセルの大きさを1とすると、 $3 \times 4$ であり、光路長は、一つのスイッチセルの対角長を1とすると、4である。ミラー面での反射回数は常に2回である。スイッチセルの数は6であり、下向き及び上向きの反射ミラーが3つずつである。

## 【0077】

図27は、図22に示される光スイッチの構成に準じて構成される $n$ 入力 $n$ 出力の光スイッチにおけるスイッチセル及びロッドレンズの配置形態を示す図である。スイッチサイズは、一つのスイッチセルの大きさを1とすると、 $(n+1)$   $(n+2)$ であり、光路長は、一つのスイッチセルの対角長を1とすると、 $(n+2)$ である。入力からロッドレンズまでの光路長と、ロッドレンズから出力までの光路長は、ロッドレンズの配置される列により異なるが、レンズの種類は約  $(n/2)$  で済む。ロッドレンズの位置は、(行、列)の表示で、

$(1, n+1)$ 、 $(2, n)$ 、 $(2, n+1)$ 、 $\dots$ 、 $(i, n-i+2)$ 、 $(i, n-i+3)$ 、 $\dots$ 、 $(n, 2)$ 、 $(n, 3)$ 、 $(n+1, 2)$

である。

## 【0078】

ミラー面での反射回数は、2回、4回の2通りである。

## 【0079】

スイッチセルの数は $n(n+1)$ である。下向きのみ反射ミラーを有するスイッチセルの数は、 $n=2$ のときに3、 $n=3$ のときに5、3を超える $n$ に関し

て  $(2n-2)$  であり、上向きの反射ミラーを有するスイッチセルの数は、下向きの反射ミラーを有するスイッチセルの数と同じであり、両方向の反射ミラーを有するスイッチセルの数は、 $n=2$  のときに 0、 $n=3$  のときに 2、3 を越える  $n$  に関して  $(n^2-3n+4)$  である。

## 【0080】

これまでに説明した実施形態では、ミラー 4 又は 6 での反射を含むミラー反射の回数にパスの依存性が生じてしまい、反射損失が無視し得ない場合、反射回数により損失のパス依存性が出てしまう。そこで、損失のパス依存性をなくすために反射回数を常に 2 回にするようにした実施形態を説明する。

## 【0081】

図 28 は本発明による 4 入力 4 出力の光スイッチの構成及び動作を説明するための図である。入力側の第 1 列に 4 個のスイッチセルを配置し、各スイッチセルからの光信号を専用のスイッチセルでスイッチングさせるものである。各スイッチセルを表す丸の中に示されている数字は入力チャネルを表している。各チャネルには、5 個の専用セルが割り振られているので、輻輳することなく必ず 2 回の反射を経て光信号は出力される。

## 【0082】

スイッチサイズは、一つのスイッチセルの大きさを 1 とすると、 $6 \times 6$  であり、光路長は、一つのスイッチセルの対角長を 1 とすると 6 である。ミラー面での反射回数が常に 2 回になることがこの光スイッチの特徴である。スイッチセルの数は 19 であり、そのうち、下向きのみの反射ミラーを有するスイッチセルが 4 個、上向きのみの反射ミラーを有するスイッチセルが 15 個である。

## 【0083】

図 29 は本発明による  $n$  入力  $n$  出力の光スイッチを示す図であり、ここでは 8 入力 8 出力のものが図示されている。第 1 列に入力チャネルを 2 通りの光路に分ける下向き反射用のスイッチセルを  $n$  個配置してある。一方の光路は各スイッチセルの第 1 の状態によって提供され、この光路はミラー 4 での反射を含む。他方の光路は各スイッチセルの第 2 の状態によって提供され、この光路はミラー 4 での反射を含まない。また、これらの光路が結合される  $(n^2-1)$  個の上向き反

射用のスイッチセルが設けられている。上向き反射用の各スイッチセルは、各信号光路に合わせた位置に設けられてあり、出力に至る最終的な光路を決定する。

【0084】

スイッチサイズは  $2(n-1) \times 2(n-1)$  であり、全体の光路長は、一つのスイッチセルの対角長を1とすると、 $2(n-1)$  である。スイッチセルの総数は  $(n^2 + n - 1)$  個である。両面反射用のミラーを有するスイッチセルは不要である。

【0085】

ミラー面での反射回数は常に2回であるが、光路長が長くなり易いので、光路中にロッドレンズを配置することが望ましい。図29に示されるように、ロッドレンズ用スペースが発生するので、ここにロッドレンズを配置することができる。

【0086】

ただし、チャンネル数が5以下の場合にはロッドレンズ用のスペースが発生しないので、図30に示されるように、1行1列を追加してスペースを作ることが望ましい。

【0087】

すなわち、図29に示される構成において、ロッドレンズ用スペースの大きさは  $(n/2 - 2)$  であり、 $n$  が6以上である場合に一つ分以上のスペースが発生する。

【0088】

スイッチセルの配置位置を行列表示で示す。下向き反射用のミラーを有するスイッチセルに関しては、

$$(1, i) ; i = 1 \sim n$$

である。また、上向き反射用のミラーを有するスイッチセルに関しては、

$$(n/2 + i, 2(n-1) - n/2 + 1 - i) ; i = 0 \sim (n-1)$$

$$(n/2 + i, 2(n-1) - n/2 + 2 - i) ; i = 0 \sim (n-1)$$

$$(n/2 + i + 1, 2(n-1) - n/2 + 1 - i) ; i = 0 \sim (n-1)$$

$$(n-1 + i, 2(n-1) - i) ; i = 0 \sim (n-1)$$



$$(n+i, 2(n-1)-i); i=0 \sim (n-1)$$

図31により、 $n$ 入力 $n$ 出力の本発明による光スイッチ（図29参照）の動作を説明する。まず、第1列目のスイッチセルで、出力チャンネルが偶数か奇数かに応じて切り換える。例えば、入力チャンネル#2について、出力チャンネルが奇数の場合、入力チャンネル#2に対応する第1列のスイッチセルのスイッチミラーを立てて（第2の状態にして）、光路を対角線上に切り換える。出力チャンネルが偶数であれば、そのスイッチセルのスイッチミラーを立てずに（第1の状態にして）、図中上側に設けられている固定されたミラー4で光路を変更する。

## 【0089】

次に、右斜め上から左下方向に配置されたスイッチセル群で最終的な出力チャンネルを決定する。図中の $(i_n)$ のスイッチセルは、入力チャンネルが# $i$ で出力チャンネルが# $n$ の場合にスイッチミラーを立てるスイッチセルを示している。

## 【0090】

この光スイッチのスイッチサイズについて考察する。今、入力チャンネル# $n$ について、出力チャンネルが偶数であるとする、固定されたミラー4により反射点 $R_n$ で反射され、 $n_2, n_4, \dots, n_n$ で表されるスイッチセルに光信号が入力される。このとき、ミラー4から離れていない位置に、図に示されるように、上向きのスイッチセル群を配置すると、出力ビームの一部が基板2の側面ではなくミラー4に対応する位置から出力されてしまい、扱いが難しくなる。図31では、出力チャンネル#1～#4がミラー4に対応する位置から出力するように図示されている。

## 【0091】

そこで、図32に示されるように、出力チャンネル#1が基板2の丁度頂点部に係るように、 $n_2, n_4, \dots, n_n$ で表されるスイッチセルを配置すれば良い。この場合、基板2の一辺のサイズは、 $n+2(n/2-1)=2n-2$ となるので、スイッチサイズは、 $(2n-2) \times (2n-2)$ である。尚、この構成の場合、出力チャンネル# $n$ は、 $n_{n-1}$ で表されるスイッチセルに対応する下側のミラー6での反射点で生じる光路が適用されている。

## 【0092】

スイッチセル数は、下向きスイッチセル（第1列のスイッチセル）が $n$ 、上向きスイッチセル（右上から左下方向に配置されたスイッチセル群）が $(n^2 - 1)$ であり、トータルで $(n^2 + n - 1)$ となる。反射回数は、光路によらず常に2回である。光路長は、一つのスイッチセルの対角長を1とすると、 $(2n - 2)$ である。

## 【0093】

図33及び34を参照すると、出力チャネルに対応する上向きスイッチセルの位置を変えた例が示されている。図33に示される構成では、奇数チャネルに対応する上向きスイッチセルが右上に位置しており、偶数チャネルに対応する上向きスイッチセルが左下に位置している。これに対して、図34に示される構成では、偶数出力チャネルに対応する上向きスイッチセルが右上に位置し、奇数出力チャネルに対応する上向きスイッチセルが左下に位置している。

## 【0094】

何れの場合にも、下向きスイッチセル（第1列のスイッチセル）の数は $n$ 、上向きスイッチセル（右上から左下方向に配置されたスイッチセル群）の数は $n^2$ であり、トータルのスイッチセルの数は $(n^2 + n)$ である。

## 【0095】

図33に示される光スイッチのスイッチサイズは $(2n - 1) \times (2n - 1)$ であり、光路長は、一つのスイッチセルの対角長を1とするときに、 $(2n - 1)$ である。図34に示される光スイッチのスイッチサイズは $2n \times 2n$ であり、光路長は $2n$ である。

## 【0096】

何れの場合にも、反射回数は2回であり、反射回数による損失のパス依存性を排除することができる。その結果、反射損失が小さくないミラーの使用が可能になる。

## 【0097】

さらに、図33及び図34に示される実施形態では、下側に対応するミラー（他の実施形態におけるミラー6）が不要になるので、光スイッチの製造が容易になるという効果がある。

## 【0098】

次に、図28～図34で説明した実施形態と同様に、ミラー反射回数による損失のパス依存性が生じない実施形態を説明する。

## 【0099】

図35は、本発明による $n$ 入力 $n$ 出力の光スイッチを示している。複数のスイッチセルが $(n+1) \times (n+1)$ の格子状に配置されている。(行、列)表示で、 $((n+1), 1)$ 、 $((n+1), (n+1))$ 及び $(1, n)$ の位置のスイッチセルが不要であるので、スイッチセルの数は $(n^2 + 2n - 2)$ である。

## 【0100】

スイッチサイズは $(n+1) \times (n+1)$ であり、光路長は、一つのスイッチセルの対角長を1とすると、 $(n+1)$ である。ミラー反射回数は、パスに依存せず、常に2回である。

## 【0101】

下向きのみ反射ミラーを有するスイッチセルの数は、 $(n(n+1)/2 - 1)$ であり、上向きのみ反射ミラーを有するスイッチセルの数は $(n(n+1)/2 - 1 + n)$ である。尚、この実施形態では、両方向のミラーを有するスイッチセルは不要である。

## 【0102】

図36は本発明による3入力3出力の光スイッチの全スイッチング状態(6通り)を模式的に示したものである。反射回数は全ての場合で2回である。

## 【0103】

スイッチサイズは、一つのスイッチセルの大きさを1とすると、 $4 \times 4$ であり、光路長は、一つのスイッチセルの対角長を1とすると4である。スイッチセルの数は13であり、そのうち下向きのみ反射ミラーを有するスイッチセルが5個、上向きのみ反射ミラーを有するスイッチセルが8個である。両方向の反射ミラーを有するスイッチセルは不要である。

## 【0104】

図37は本発明による2入力2出力の光スイッチの全スイッチング状態(2通

り)を示している。スイッチサイズは、一つのスイッチセルの大きさを1とすると、 $3 \times 3$ である。光路長は、一つのスイッチセルの対角長を1とすると、3である。

## 【0105】

ミラー面での反射回数は常に2回である。スイッチセルの数は6であり、そのうち、下向きのみ反射ミラーを有するスイッチセルが2個、上向きのみ反射ミラーを有するスイッチセルが4個である。両方向の反射ミラーを有するスイッチセルは不要である。

## 【0106】

図38～40は本発明による4入力4出力の光スイッチの全スイッチング状態(24通り)を示している。スイッチサイズは、一つのスイッチセルの大きさを1とすると、 $5 \times 5$ である。光路長は、一つのスイッチセルの対角長を1とすると、5である。ミラー面での反射回数は、常に2回である。スイッチセルの数は22であり、そのうち下向きのみ反射ミラーを有するスイッチセルが9個、上向きのみ反射ミラーを有するスイッチセルが13個である。両方向反射のミラーは不要である。

## 【0107】

次に、図41により、図35に示される構成に複数のロッドレンズを付加して得られる $n$ 入力 $n$ 出力の光スイッチの実施形態を説明する。光MEMSが採用されている場合、入力ファイバ端及び出力ファイバ端の各々にコリメートレンズを配置したとしても、光路長が長くなると光ビームが拡大して損失が大きくなる可能性がある。これに対処するために、取扱が容易なロッドレンズを光スイッチ内部の各光路長に配置することが有効である。

## 【0108】

図41に示される実施形態では、複数のスイッチセルが $(n+2) \times (n+2)$ の格子状に配置され、さらに、複数のロッドレンズのスペースを確保するために、基板2における正方格子配置における対角部分にスペースが設けられている。

## 【0109】

スイッチサイズは、一つのスイッチセルの大きさを1とするときに、 $(n+2) \times (n+2)$ であり、光路長は、一つのスイッチセルの対角長を1とするときに $(n+2)$ である。

## 【0110】

ロッドレンズの総数は $2n$ 個であり、ロッドレンズの種類は $n/2$ 種類である（詳細は後述）。

## 【0111】

スイッチセルの数は、 $(n^2 + 2n - 2)$ である。下向きのみ反射ミラーを有するスイッチセルの数は、 $((n+1)/2 - 1)$ であり、上向きのみ反射ミラーを有するスイッチセルの数は、 $(n(n+1)/2 - 1 + n)$ である。両方向の反射ミラーを有するスイッチセルは不要である。ミラー反射回数はパスに依存せずに常に2回である。

## 【0112】

ロッドレンズの位置は、 $(1, n+1)$ ,  $(2, n)$ ,  $(2, n+1)$ ,  $\dots$ ,  $(i, n-i+2)$ ,  $(i, n-i+3)$ ,  $\dots$ ,  $(n, 2)$ ,  $(n, 3)$ ,  $(n+1, 2)$ である。

## 【0113】

図4 2及び図4 3は本発明による4入力4出力の光スイッチの全スイッチング状態（24通り）を示している。また、図4 4は図4 2及び4 3を整理してスイッチセルの向きが明確になるようにしたものである。

## 【0114】

スイッチサイズは、一つのスイッチセルの大きさを1とすると、 $6 \times 6$ である。光路長は、一つのスイッチセルの対角長を1とすると、6である。ミラー面での反射回数は常に2回である。

## 【0115】

スイッチセルの数は22であり、そのうち下向きの反射ミラーを含むスイッチセルの数は9、上向きの反射ミラーを有するスイッチセルの数は13である。両方向の反射ミラーを有するスイッチセルは不要である。

## 【0116】

次に、図45を用いて、複数あるロッドレンズの種類について考察する。入力から出力に至る4つのコリメート系により提供される光路に4つのロッドレンズが設けられている。ここで、ロッドレンズを表す長方形の中に示されている1～4の数字はロッドレンズを区別するために付されている。

## 【0117】

各チャネルにおいて、光路長は、一つのスイッチセルの対角長を1とすると5で一定である。例えば、入力ファイバとロッドレンズ間の距離と出力ファイバ及びロッドレンズ間の距離の比は、チャネル#1～#4に対して、それぞれ、1:4, 2:3, 3:2, 4:1である。従って、焦点距離等に関するロッドレンズの種類は2種類で済むことになる。尚、一般的に、 $n \times n$ の光スイッチでは、 $n/2$ 種類のロッドレンズとなる。

## 【0118】

図46は本発明による8入力8出力の光スイッチを示している。この光スイッチは、これまで同様光路によらず反射回数は常に2回であり、非閉塞光スイッチである。この光スイッチの動作を図47及び図48により説明する。

## 【0119】

まず、図47に示されるように、入力が偶数チャネルで出力が偶数チャネルになる場合を考える。図中、破線のルートは、入力が奇数チャネルであり出力が偶数チャネルになるルートを示している。これらは各入力奇数チャネルに応じた専用ルートであり、ミラー4により光路が折り返されている。左半分に示される実線のルートは、入力が偶数チャネルで出力が偶数チャネルのルートであり、内訳は次の通りである。

## 【0120】

(a) 2チャネルから8チャネルまで行くことが可能なルートが3本(図中の(1), (2)及び(3))。(1)は入力第1チャネルの専用ルートにもなっている。

## 【0121】

(b) 第2チャネルから第6チャネルまで行くことが可能なルートが一本(図中の(4))

(c) 第2チャンネルから第4チャンネルまで行くことが可能なルートが一本（図中の（5））

(d) 第2チャンネルにまでしか行けないルートが一本（図中の（6））

偶数の入力チャンネルに対応して、行くことが可能なルートを図中に表でまとめている。ルートが最も輻輳するケースとして、入力第8チャンネルから出力第8チャンネル、入力第6チャンネルから出力第6チャンネル、入力第4チャンネルから出力第4チャンネル、入力第2チャンネルから出力第2チャンネルを考えると、入力第2チャンネルから出力第8チャンネルまで行くことが可能なルートを3つ用意しておけば良いことがわかる。

【0122】

そこで、ルートとして、図中の（1）、（2）及び（3）を使えるようにスイッチセルを配置すれば良い。

【0123】

尚、ルート（1）は、入力第1チャンネルの専用ルートにもなっているが、偶数の出力チャンネルが既に偶数の入力チャンネルに割りつけられていることになるので、このルート（1）は最早不要になる。従って、ルート（1）を入力偶数チャンネルで使うことができる。

【0124】

このようなスイッチセルの配置を行うと、スイッチサイズは、図中上方向に1行下方向に2行増やし、 $11 \times 11$ となる。

【0125】

次に、図48に示されるように、入力が奇数チャンネルであり、出力が奇数チャンネルである場合を考える。図中破線のルートは、入力が偶数チャンネルで出力が奇数チャンネルになるルートを示している。これらは、各偶数入力チャンネルに応じた専用ルートであり、ミラー4で光路が折り返されている。

【0126】

左半分の実線のルートは、入力が奇数チャンネルで出力が奇数チャンネルのルートであり、これらは5つある。図中の表に示したように出力が奇数の第1チャンネルから第7チャンネルまで行くことができるルートとして、2本あれば良いことが分

かる。このルート数は、入力が偶数チャネルで出力が偶数チャネルのルートを設定すれば自動的に達成されるので、これによりスイッチサイズを容易に検討することができる。

## 【0127】

次に、図49により本発明による $n$ 入力 $n$ 出力の光スイッチについて考察する。最も重要な点は、入力の第2チャネルから出力の第 $n$ チャネルまで行くことが可能なルート数がいくつ必要かということである。図からわかるように、必要ルート数は、 $(n/4 + 1)$ である。尚、 $n$ が4の倍数にならない場合には、 $(n - 2)$ を $n$ に代入して考えれば良い。

## 【0128】

このルート数を得るためには、正方格子のサイズは、図からわかるように、 $n + (n/4 - 1) + (n/4) = (1.5n - 1)$ となる。 $n$ が大きいときには、ほぼ $1.5n$ の正方格子サイズとなるので、この構成を「 $1.5n$ 正方格子」と称することにする。

## 【0129】

尚、図35等に表示される $(n + 1)$ 正方格子のタイプは、 $1.5n$ 正方格子のタイプで $n$ が6以下の場合に相当している。次に、スイッチセル数について考察する。

## 【0130】

図50に計算式を示すように、上向きの反射ミラーを有するスイッチセルの数は、 $(3n^2/4 + n/2 - 1)$ 、下向きの反射ミラーを有するスイッチセルの数は、 $(n^2/2)$ 、従って、全スイッチセル数は $(5n^2/4 + n/2 - 1)$ である。

## 【0131】

ロッドレンズ等の集光手段を光スイッチ内に配置するスペースは、 $n$ が8以上の場合に生じ、レンズ個数は $(5n/2 - 2)$ である。

## 【0132】

尚、図49に示される実施形態において、 $n$ が4の倍数である場合には、スイッチサイズは、 $(3n/2 - 1) \times (3n/2 - 1)$ であり、 $n$ が4の倍数では



ない場合には、 $(3n/2 - 2) \times (3n/2 - 2)$  である。 $n \times n$  のスイッチサイズから大きくなる分は、 $(n/2 - 1)$  である。

【0133】

表1は図49等に表示される実施形態において、入出力チャネル数と、入力第2チャネルから出力第nチャネルまでのルート数と、サイズの増分と、スイッチサイズの関係を表している。

【0134】

【表1】

入出力チャンネル	4×4	6×6	8×8	10×10	12×12	14×14	16×16	18×18	20×20
2～nまでのルート数	2	2	3	3	4	4	5	5	10
サイズ増分	+1	+1	+3	+3	+5	+5	+7	+7	+9
スイッチサイズ	5×5	7×7	11×11	13×13	17×17	19×19	23×23	25×25	29×29

## 【 0 1 3 5 】

尚、固定ミラーとしてミラー 4 及び 6 を用いているが、その反射ポイントにスイッチセルを配置しても本発明を実施することができる。また、 $n$  入力  $n$  出力の光スイッチとして、 $n$  の値が偶数であるとして説明したが、奇数でも同様な機能が得られる。

## 【 0 1 3 6 】

図 5 1 に示されるように、 $n$  が 8 以上である場合、基板 2 上にロッドレンズ等の集光手段を配置するレンズ領域が発生する。レンズの個数は、図から明らかのように、 $(5n/2 - 2)$  である。

## 【 0 1 3 7 】

本発明の種々の実施形態の構成を比較して表 2 及び表 3 にまとめておく。

## 【 0 1 3 8 】

## 【表 2】

	正方形格子基本タイプ		正方形格子Aタイプ		正方形格子Bタイプ		正方形格子球レンズ 付加タイプ		正方形格子ロッドレンズ付加タイプ	
	4×4	n×n	4×4	n×n	4×4	n×n	4×4	n×n	4×4	n×n
入出力チャネル数	4×4	n×n	4×4	n×n	4×4	n×n	4×5	n×(n+1)	5×6	(n+1)×(n+2)
大きさ	16	n <sup>2</sup>	16	n <sup>2</sup>	16	n <sup>2</sup>	16	n <sup>2</sup>	20	n×(n+1)
SWセル数	4	n	4	n	4	n	5	n+1	6	n+2
光路長	2or4or1	2or4or1	1or3	1or3	0or2or4	0or2or4	2or4or6	2or4or6	2or4	2or4
反射回数	5個	n+1	8個	n <sup>2</sup> /2	8個	n <sup>2</sup> /2	4個	n	6個	2n-2
上面反射ミラー	5個	n+1	8個	n <sup>2</sup> /2	8個	n <sup>2</sup> /2	4個	n	6個	2n-2
下面反射ミラー	6個	n <sup>2</sup> -2n-2	---	---	---	---	3個	n <sup>2</sup> -2n	8個	n <sup>2</sup> -3n+4
両面反射ミラー	---	---	---	---	---	---	5個	全て両面同時反射とする	---	---
両面同時反射ミラー	---	---	---	---	---	---	球レンズ	球レンズ	球レンズ	球レンズ
レンズタイプ	---	---	---	---	---	---	4個	n個	8個	2n個
レンズ挿入	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
備考		閉塞		奇数・偶数chの光入力・出力方向を交差。非閉塞		奇数chの1列目とN列目のSW論理を反転。非閉塞				

【0139】

【表3】

	V字配置タイプ		(N+1)正格子タイプ		(N+1)正格子ロッドレンズ付 加タイプ		1.5N正格子タイプ	
	4×4	n×n	4×4	n×n	4×4	n×n	4×4	n×n
入出力チャネル数	4×4	n×n	4×4	n×n	4×4	n×n	4×4	n×n
大きさ	6×6	2(n-1)	5×5	(n+1)×(n+1)	6×6	(n+2)×(n+2)	5×5	(1.5n-1)×(1.5n-1)
SWセル数	19	n <sup>2</sup> +n-1	22	n <sup>2</sup> +2n-2	22	n <sup>2</sup> +2n-2	22	1.25n <sup>2</sup> +0.5n-1
光路長	6	2(n-1)	5	n+1	6	n+2	5	1.5n-1
反射回数	2	2	2	2	2	2	2	2
SWミラー 種類	上面反射ミラー	15個	n <sup>2</sup> -1	n(n+1)/2-1+n	13個	n(n+1)/2-1+n	13個	0.75n <sup>2</sup> +0.5n-1
	下面反射ミラー	4個	n	n(n+1)/2-1	9個	n(n+1)/2-1	9個	0.5n <sup>2</sup>
	両面反射ミラー	---	---	---	---	---	---	---
	両面同時反射ミラー	---	---	---	---	---	---	---
レンズ 挿入	レンズタイプ	---	ロッドレンズ	---	---	ロッドレンズ	---	ロッドレンズ
	レンズ個数	2n個	---	---	8個	2n個	---	2.5n-2個
備考		n>5の場合、ロッド レンズ挿入可能。非 閉塞		1.5n正格子タイプで、 nが6以下に相当。 閉塞				n>8の場合、ロッドレンズ挿 入可能。閉塞

【0140】

本発明は以下の付記を含むものである。

【0141】

(付記1) 複数のスイッチセルを備えた光スイッチであって、

前記光スイッチは  $n$  ( $n$  は自然数) の入力と  $m$  ( $m$  は自然数) の出力とを有し

前記光スイッチは隣り合う二つのスイッチセル間の距離として定義される単位サイズを有し、

前記光スイッチは、

$K \cdot L$  ( $K$  は  $n \leq K$  を満たす整数、 $L$  は  $m \leq L$  を満たす整数) のスイッチサイズを有する基板と、

前記基板の主面に対して垂直で且つ互いに平行な第1及び第2のミラーと、

前記第1及び第2のミラーに対して傾斜した前記入力のための複数の入力光路並びに前記第1及び第2のミラーに対して傾斜した前記出力のための複数の出力光路を提供する光学ユニットとを備え、

各スイッチセルは前記基板に対して可動的に設けられたスイッチミラーを含む光スイッチ。

【0142】

(付記2) 付記1に記載の光スイッチであって、

各スイッチセルは、前記スイッチミラーが前記基板の主面に平行な第1の状態と、前記スイッチミラーが前記主面に垂直な第2の状態とを切換える光スイッチ

【0143】

(付記3) 付記1に記載の光スイッチであって、

前記複数のスイッチセルは  $n \cdot m$  のスイッチセルを含み、

前記  $n \cdot m$  のスイッチセルは前記主面上の  $n \cdot m$  の格子位置に設けられている光スイッチ。

【0144】

(付記4) 付記1に記載の光スイッチであって、

$n = m = K = L$  である光スイッチ。

【0145】

(付記5) 付記1に記載の光スイッチであって、  
前記複数の入力光路の奇数チャネル及び偶数チャネルは交差しており、前記複数の出力光路の奇数チャネル及び偶数チャネルは交差している光スイッチ。

【0146】

(付記6) 付記1に記載の光スイッチであって、  
前記複数の入力光路は互いに平行であり、前記複数の出力光路は互いに平行である光スイッチ。

【0147】

(付記7) 付記6に記載の光スイッチであって、  
前記入力側のスイッチセルの論理が交互に反転しており、前記出力側のスイッチセルの論理が交互に反転している光スイッチ。

【0148】

(付記8) 付記1に記載の光スイッチであって、  
 $n = m = K$ 、 $L = n + 1$ 、 $n$ は偶数であり、  
 $K$ 及び $L$ がそれぞれ行及び列を表すときに、  
前記光スイッチは $(n / 2 + 1)$ 列目に設けられた $n$ 個のレンズを更に備えている光スイッチ。

【0149】

(付記9) 付記8に記載の光スイッチであって、  
各レンズは球レンズである光スイッチ。

【0150】

(付記10) 付記1に記載の光スイッチであって、  
 $n = m = K$ 、 $L = n + 1$ 、 $n$ は奇数であり、  
 $K$ 及び $L$ がそれぞれ行及び列を表すときに、  
前記光スイッチは $((n + 1) / 2 + 1)$ 列目に設けられた $n$ 個のレンズを更に備えている光スイッチ。

【0151】

(付記11) 付記10に記載の光スイッチであって、

各レンズは球レンズである光スイッチ。

【0152】

(付記12) 付記1に記載の光スイッチであって、

$n = m = K$ 、 $L = n + 1$ 、

K及びLがそれぞれ行及び列を表すときに、

前記光スイッチは任意の列に設けられたn個のレンズを更に備えている光スイッチ。

【0153】

(付記13) 付記1に記載の光スイッチであって、

$n = m$ 、 $K = n + 1$ 、 $L = n + 2$ であり、

前記光スイッチは前記主面の概ね対角線上に設けられた2n個のレンズを更に備えた光スイッチ。

【0154】

(付記14) 付記13に記載の光スイッチであって、

前記レンズはロッドレンズである光スイッチ。

【0155】

(付記15) 付記6に記載の光スイッチであって、

前記複数のスイッチセルは、前記入力側に設けられたnの第1のスイッチセル群と、相対的に前記出力側に設けられた少なくとも $(n^2 - 1)$ の第2のスイッチセル群とを含む光スイッチ。

【0156】

(付記16) 付記15に記載の光スイッチであって、

前記第1のスイッチセル群の各々は、各入力を前記第1のミラーでの反射を含む第1の光路と前記第1のミラーでの反射を含まない第2の光路とに切換え、

前記第2のスイッチセル群の各々は、前記第1及び第2の光路の各々に対応して設けられており、各出力に至る最終的な光路を決定する光スイッチ。

【0157】

(付記17) 付記15に記載の光スイッチであって、

前記第1のスイッチセル群の配置位置が、行列表示で、



$(1, i) ; i = 1 \sim n$

前記第2のスイッチセル群の配置位置が、行列表示で、

$(n/2 + i, 2(n-1) - n/2 + 1 - i) ; i = 0 \sim (n-1)$

$(n/2 + i, 2(n-1) - n/2 + 2 - i) ; i = 0 \sim (n-1)$

$(n/2 + i + 1, 2(n-1) - n/2 + 1 - i) ; i = 0 \sim (n-1)$

$(n-1 + i, 2(n-1) - i) ; i = 0 \sim (n-1)$

$(n + i, 2(n-1) - i) ; i = 0 \sim (n-1)$

である光スイッチ。

【0158】

(付記18) 付記15に記載の光スイッチであって、

$K = L = 2(n-1)$  である光スイッチ。

【0159】

(付記19) 付記15に記載の光スイッチであって、

$K = L = 2n - 1$  である光スイッチ。

【0160】

(付記20) 付記19に記載の光スイッチであって、

前記少なくとも  $(n^2 - 1)$  の第2のスイッチセル群は  $n^2$  のスイッチセルから本質的になり、それにより前記第2のミラーが不要になる光スイッチ。

【0161】

(付記21) 付記15に記載の光スイッチであって、

$K = L = 2n$  である光スイッチ。

【0162】

(付記22) 付記21に記載の光スイッチであって、

前記少なくとも  $(n^2 - 1)$  の第2のスイッチセル群は  $n^2$  のスイッチセルから本質的になり、それにより前記第2のミラーが不要になる光スイッチ。

【0163】

(付記23) 付記15に記載の光スイッチであって、

前記第1のスイッチセル群と前記第2のスイッチセル群との間に設けられた複数のレンズを更に備えた光スイッチ。

【 0 1 6 4 】

(付記 2 4) 付記 2 3 に記載の光スイッチであって、  
前記複数のレンズの各々はロッドレンズである光スイッチ。

【 0 1 6 5 】

(付記 2 5) 付記 2 3 に記載の光スイッチであって、  
前記複数のレンズは  $2n$  のレンズを含む光スイッチ。

【 0 1 6 6 】

(付記 2 6) 付記 2 3 に記載の光スイッチであって、  
 $n$  は 6 より小さく、  
前記基板の主面は過剰スペースを有し、  
前記複数のレンズは前記過剰スペース上に設けられている光スイッチ。

【 0 1 6 7 】

(付記 2 7) 付記 2 3 に記載の光スイッチであって、  
 $n$  は 5 より大きく、  
前記複数のレンズは前記基板の主面上に設けられている光スイッチ。

【 0 1 6 8 】

(付記 2 8) 付記 1 に記載の光スイッチであって、  
 $K = L = n + 1 = m + 1$  であり、  
前記複数のスイッチセルは前記主面上の  $(n + 1) \cdot (n + 1)$  の格子位置に  
設けられている光スイッチ。

【 0 1 6 9 】

(付記 2 9) 付記 2 8 に記載の光スイッチであって、  
前記複数のスイッチセルは第 1 及び第 2 のスイッチセル群を含み、  
前記第 1 のスイッチセル群の各スイッチセルのスイッチミラーは第 1 の方向に  
向いており、

前記第 2 のスイッチセル群の各スイッチセルのスイッチミラーは前記第 1 の方  
向と逆の第 2 の方向に向いている光スイッチ。

【 0 1 7 0 】

(付記 3 0) 付記 2 9 に記載の光スイッチであって、

前記第 1 及び第 2 のスイッチセル群の間に設けられた複数のレンズをさらに備えた光スイッチ。

【 0 1 7 1 】

(付記 3 1) 付記 3 0 に記載の光スイッチであって、  
各レンズはロッドレンズである光スイッチ。

【 0 1 7 2 】

(付記 3 2) 付記 1 に記載の光スイッチであって、  
前記基板の上に設けられたレンズをさらに備えた光スイッチ。

【 0 1 7 3 】

(付記 3 3) 付記 1 に記載の光スイッチであって、  
 $n = m$  である光スイッチ。

【 0 1 7 4 】

(付記 3 4) 複数の入力ポートからの光を任意に複数の出力ポートに導くよう配置した可動可能な光反射部を有する複数の光路切換手段と、  
該入力ポートからの光または該光反射部からの光を該出力ポートまたは該光反射部に向けて反射する反射手段を設けたことを特徴とする光スイッチ。

【 0 1 7 5 】

(付記 3 5) 複数の入力ポートからの光を任意に複数の出力ポートに導くよう配置した可動可能な光反射部を有する複数の光路切換手段を設け、  
該入力ポートからの該出力ポートまでの光路は全て同じ光路長にすることを特徴とした光スイッチ。

【 0 1 7 6 】

(付記 3 6) 複数の入力ポートからの光を任意に複数の出力ポートに導くよう配置した可動可能な光反射部を有する複数の光路切換手段を設け、  
該入力ポートからの該出力ポートまでの光損失が全て同じになるようにすることを特徴とした光スイッチ。

【 0 1 7 7 】

(付記 3 7) 複数の光入力ポートと、  
複数の光出力ポートと、

該複数の光入力ポートと該複数の光出力ポート間に設けられた可動可能な光反射部を有する複数の光路切換手段と、

該複数の光入力ポートと該複数の光出力ポート間で該複数の光路切換手段の外側に設けられ、入力ポートからの光または光路切換手段からの光を反射する反射手段とにより構成された光スイッチ。

【 0 1 7 8 】

(付記 3 8) 複数の光入力ポートと、

複数の光出力ポートと、

該複数の光入力ポートと該複数の光出力ポート間に設けられた可動可能な光反射部を有する複数の光路切換手段と、

該複数の光入力ポートと該複数の光出力ポート間で該複数の光路切換手段を挟むように設けられ、入力ポートからの光または光路切換手段からの光を反射する反射手段とにより構成された光スイッチ。

【 0 1 7 9 】

(付記 3 9) 複数の光入力ポートと、

複数の光出力ポートと、

該複数の光入力ポートと該複数の光出力ポート間に設けられた可動可能な光反射部を有する複数の光路切換手段とを設け、

該光路切換手段への該光入力ポートからの光入力とは隣接する該光路切換手段への光入力とは交差する方向にあることを特徴とする光スイッチ。

【 0 1 8 0 】

(付記 4 0) 付記 3 9 の光スイッチにおいて、

該複数の光入力ポートと該複数の光出力ポート間で該複数の光路切換手段を挟むように光入力ポートからの光または光路切換手段からの光を反射する反射手段をさらに設けたことを特徴とする光スイッチ。

【 0 1 8 1 】

(付記 4 1) 複数の光入力ポートと、

複数の光出力ポートと、

該複数の光入力ポートと該複数の光出力ポート間に設けられた可動可能な光反

射部を有する複数の光路切換手段とを設け、

該光入力ポートから最初に光が通過する該光路切換手段は隣接する該光路切換手段と初期の動作状態が反転した状態にあることを特徴とする光スイッチ。

【 0 1 8 2 】

（付記 4 2） 付記 4 1 の光スイッチにおいて、

該複数の光入力ポートと該複数の光出力ポート間で該複数の光路切換手段を挟むように光入力ポートからの光または光路切換手段からの光を反射する反射手段をさらに設けたことを特徴とする光スイッチ。

【 0 1 8 3 】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によると、損失にパス依存性が生じない小型化が可能な光スイッチの提供が可能になるという効果が生じる。

【 0 1 8 4 】

本発明の特定の実施形態に得られる効果は以上説明した通りであるので、その説明を省略する。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

図 1 は MEMS を用いた従来の光スイッチを示す図である。

【図 2】

図 2 はパス無依存型の従来の光スイッチを示す図である。

【図 3】

図 3 は本発明による光スイッチの実施形態を示す斜視図である。

【図 4】

図 4 の（A）及び（B）は図 3 に示される光スイッチにおけるパスの設定例を示す図である。

【図 5】

図 5 は図 3 に示される光スイッチにおけるパスの全ての設定例を示す図（その 1）である。

【図 6】

図 6 は図 3 に示される光スイッチにおけるパスの全ての設定例を示す図（その 2）である。

【図 7】

図 7 の（A）は 3 入力 3 出力の場合における全スイッチング状態を示す図、図 7 の（B）は 2 入力 2 出力の場合の全スイッチング状態を示す図である。

【図 8】

図 8 は  $n$  入力  $n$  出力の場合におけるスイッチセルの配置を説明するための図である。

【図 9】

図 9 は入射角度が  $30^\circ$  である場合の実施形態を示す図である。

【図 10】

図 10 は入射角度が  $\theta_i$  である場合の実施形態を示す図である。

【図 11】

図 11 は本発明による実施形態の拡張性を説明するための図である。

【図 12】

図 12 の（A）及び（B）はそれぞれ光導波路として提供される  $4 \times 4$  光スイッチ及び  $8 \times 8$  光スイッチ（パス無依存型）を示す図である。

【図 13】

図 13 の（A）は図 12 の（B）に示される光スイッチの論理構成を本発明に適用した場合を説明するための図、図 13 の（B）は図 13 の（A）に示される論理構成を維持したまま製造技術上の問題を回避するための実施形態を示す図である。

【図 14】

図 14 の（A）及び（B）はそれぞれ 13 の（A）及び（B）に示される光スイッチの動作例を示す図である。

【図 15】

図 15 は図 13 の（A）に示される  $4 \times 4$  光スイッチと同様に構成される  $8 \times 8$  光スイッチの実施形態を示す図である。

【図 16】

図 1 6 は図 1 3 の (B) に示される  $4 \times 4$  光スイッチと同様に構成される  $8 \times 8$  光スイッチの実施形態を示す図である。

【図 1 7】

図 1 7 の (A) 及び (B) は球レンズを付加した本発明による 4 入力 4 出力の光スイッチの動作を説明するための図である。

【図 1 8】

図 1 8 は図 1 7 の (A) 及び (B) に示される光スイッチの 2 4 種類の全スイッチング状態を模式的に示す図 (その 1) である。

【図 1 9】

図 1 9 は図 1 7 の (A) 及び (B) に示される光スイッチの 2 4 種類の全スイッチング状態を模式的に示す図 (その 2) である。

【図 2 0】

図 2 0 は図 1 8 及び図 1 9 に準じて本発明による 3 入力 3 出力の光スイッチの全スイッチング状態 (6 種類) を模式的に示す図である。

【図 2 1】

図 2 1 は図 1 7 の (A) 及び (B) 、図 1 8 、図 1 9 並びに図 2 0 に示される本発明による光スイッチにおける一般的な配置形態を説明するための図である。

【図 2 2】

図 2 2 はロッドレンズを適用した本発明による 4 入力 4 出力の光スイッチを示す図である。

【図 2 3】

図 2 3 は図 2 2 に示される光スイッチの 2 4 種類の全スイッチング状態を模式的に示す図 (その 1) である。

【図 2 4】

図 2 4 は図 2 2 に示される光スイッチの 2 4 種類の全スイッチング状態を模式的に示す図 (その 2) である。

【図 2 5】

図 2 5 は図 2 2 に示される光スイッチに準じて構成される 3 入力 3 出力の光スイッチにおける 6 種類の全スイッチング状態を模式的に示す図である。

【図 2 6】

図 2 6 は図 2 2 に示される光スイッチに準じて構成される 2 入力 2 出力の光スイッチにおける全 2 種類のスイッチング状態を模式的に示す図である。

【図 2 7】

図 2 7 は図 2 2 に示される光スイッチの構成に準じて構成される  $n$  入力  $n$  出力の光スイッチにおけるスイッチセル及びロッドレンズの配置形態を示す図である。

【図 2 8】

図 2 8 は本発明による 4 入力 4 出力の光スイッチの構成及び動作を説明するための図である。

【図 2 9】

図 2 9 は本発明による  $n$  入力  $n$  出力の光スイッチを示す図である。

【図 3 0】

図 3 0 はチャネル数が 6 より小さい場合にロッドレンズ用の過剰スペースを設けることを説明するための図である。

【図 3 1】

図 3 1 は  $n$  入力  $n$  出力の本発明による光スイッチ（図 2 9 参照）の動作を説明するための図である。

【図 3 2】

図 3 2 は図 3 1 に示される光スイッチの改良を説明するための図である。

【図 3 3】

図 3 3 は図 3 1 に示される光スイッチの他の改良を説明するための図である。

【図 3 4】

図 3 4 は図 3 1 に示される光スイッチのさらに他の改良を説明するための図である。

【図 3 5】

図 3 5 は本発明による  $n$  入力  $n$  出力の光スイッチを示す図である。

【図 3 6】

図 3 6 は本発明による 3 入力 3 出力の光スイッチの全スイッチング状態（6 通



り) を模式的に示す図である。

【図 3 7】

図 3 7 は本発明による 2 入力 2 出力の光スイッチの全スイッチング状態 (2 通り) を示す図である。

【図 3 8】

図 3 8 は本発明による 4 入力 4 出力の光スイッチの全スイッチング状態 (2 4 通り) を示す図 (その 1) である。

【図 3 9】

図 3 9 は本発明による 4 入力 4 出力の光スイッチの全スイッチング状態 (2 4 通り) を示す図 (その 2) である。

【図 4 0】

図 4 0 は本発明による 4 入力 4 出力の光スイッチの全スイッチング状態 (2 4 通り) を示す図 (その 3) である。

【図 4 1】

図 4 1 は図 3 5 に示される光スイッチに複数のロッドレンズを付加して得られる  $n$  入力  $n$  出力の光スイッチを示す図である。

【図 4 2】

図 4 2 は本発明による 4 入力 4 出力の光スイッチの全スイッチング状態 (2 4 通り) を示す図 (その 1) である。

【図 4 3】

図 4 3 は本発明による 4 入力 4 出力の光スイッチの全スイッチング状態 (2 4 通り) を示す図 (その 2) である。

【図 4 4】

図 4 4 は図 4 2 及び 4 3 を整理してスイッチセルの向きが明確になるようにしたものである。

【図 4 5】

図 4 5 はロッドレンズの種類を説明するための図である。

【図 4 6】

図 4 6 は本発明による 8 入力 8 出力の光スイッチを示す図である。

【図 4 7】

図 4 7 は図 4 6 に示される光スイッチの動作を説明するための図である。

【図 4 8】

図 4 8 は図 4 6 に示される光スイッチの動作を説明するための他の図である。

【図 4 9】

図 4 9 は本発明による  $n$  入力  $n$  出力の光スイッチを示す図である。

【図 5 0】

図 5 0 は付記された計算式とともにスイッチセルの数を説明するための図である。

【図 5 1】

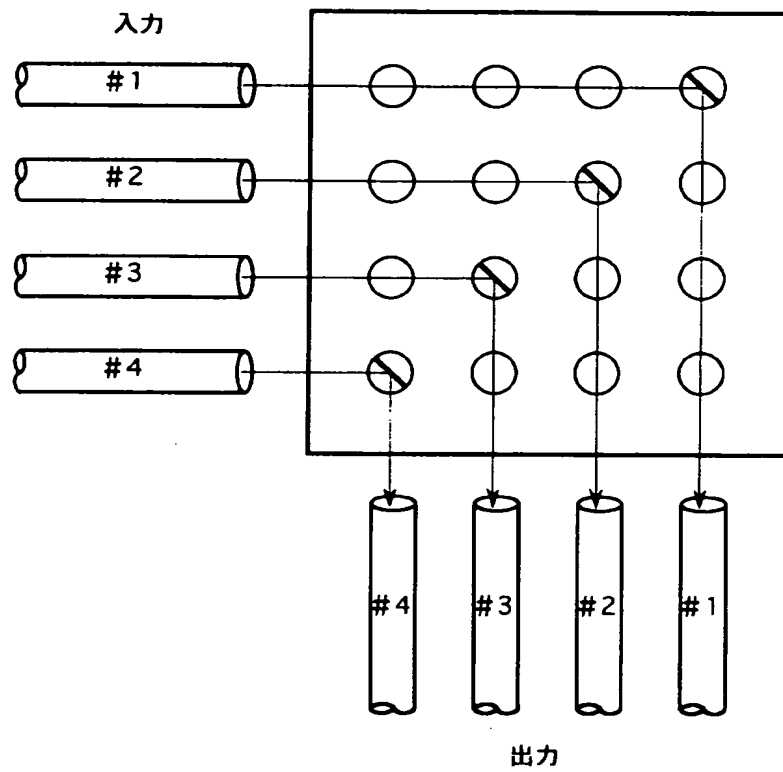
図 5 1 はレンズを配置するためのレンズ領域を説明するための図である。

【符号の説明】

- 2 基板
- 2 A 主面
- 4, 6 ミラー
- 1 0, 1 2 光ファイバ
- 1 4 スイッチミラー
- P 1 入力光路
- P 2 出力光路

【書類名】 図面

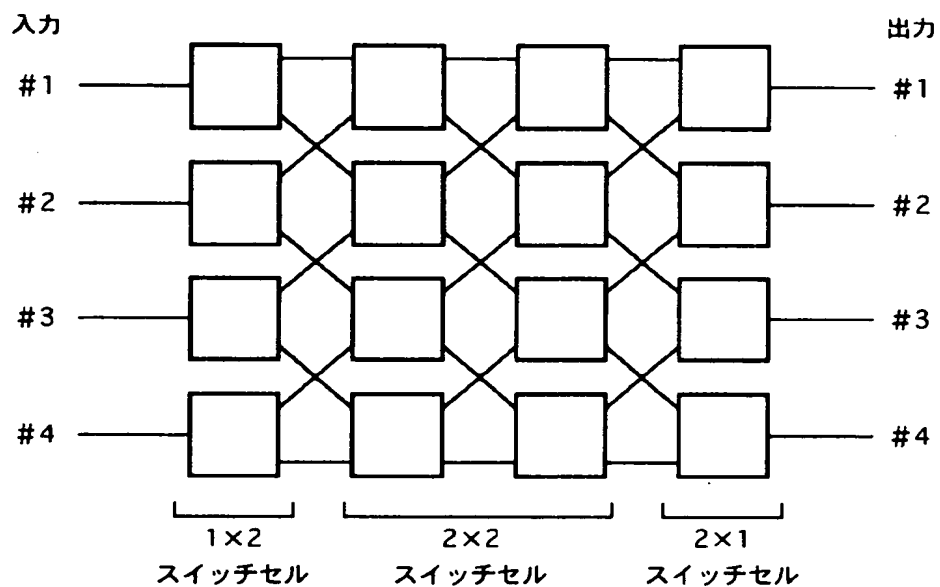
【図 1】



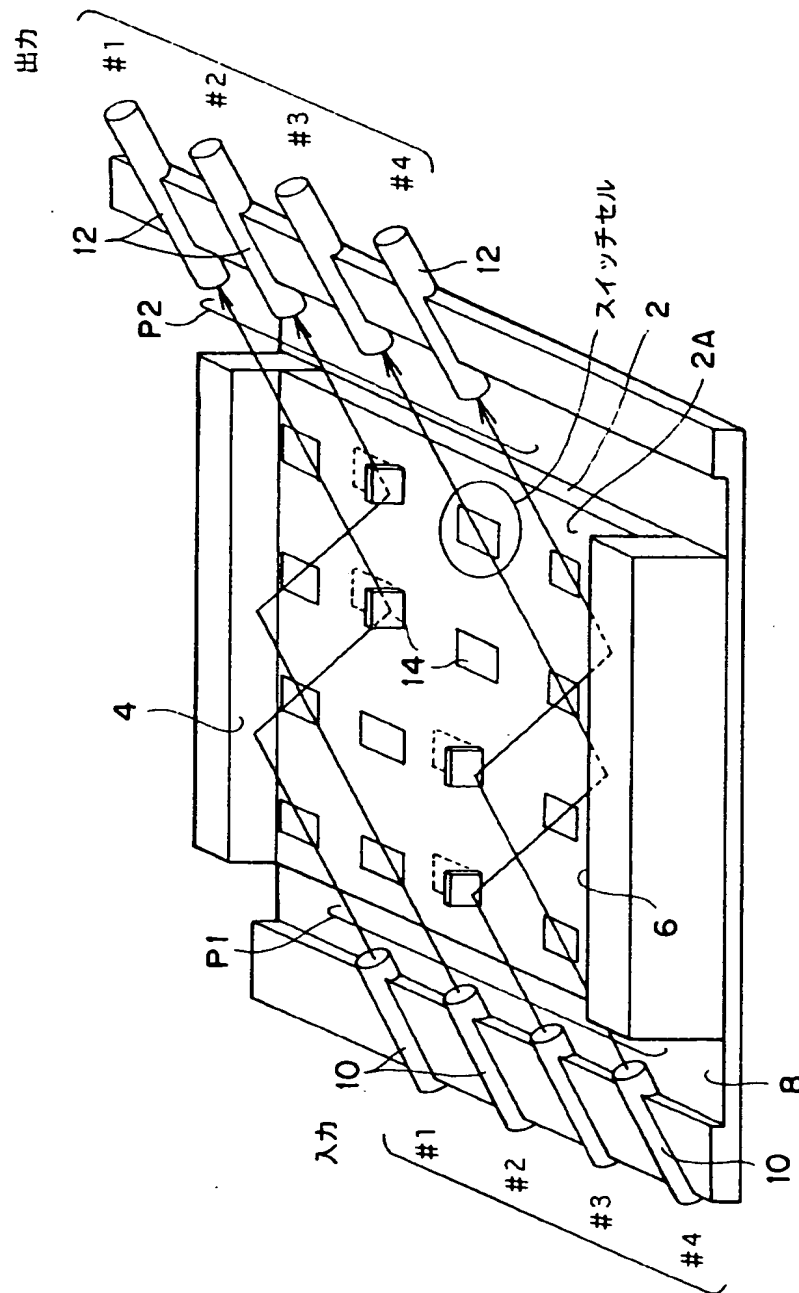
⊗ ; スイッチセル (オン時 ; ミラー挿入時)

○ ; スイッチセル (オフ時 ; ミラー未挿入時)

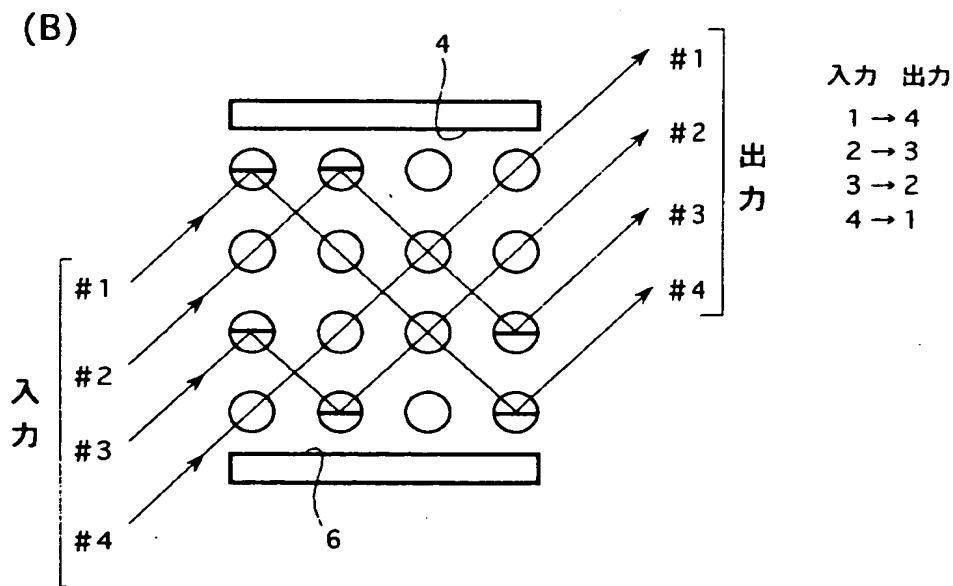
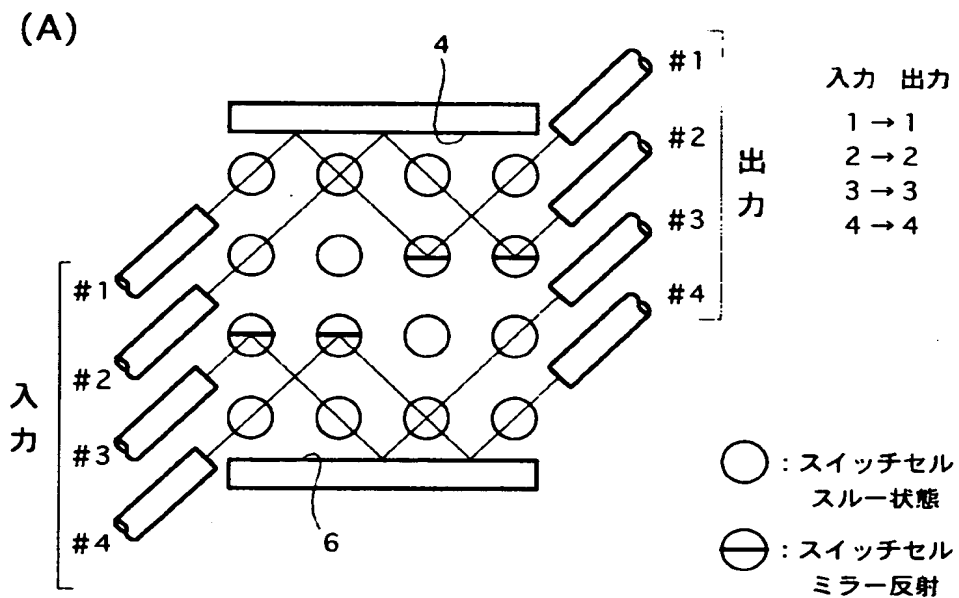
【図 2】



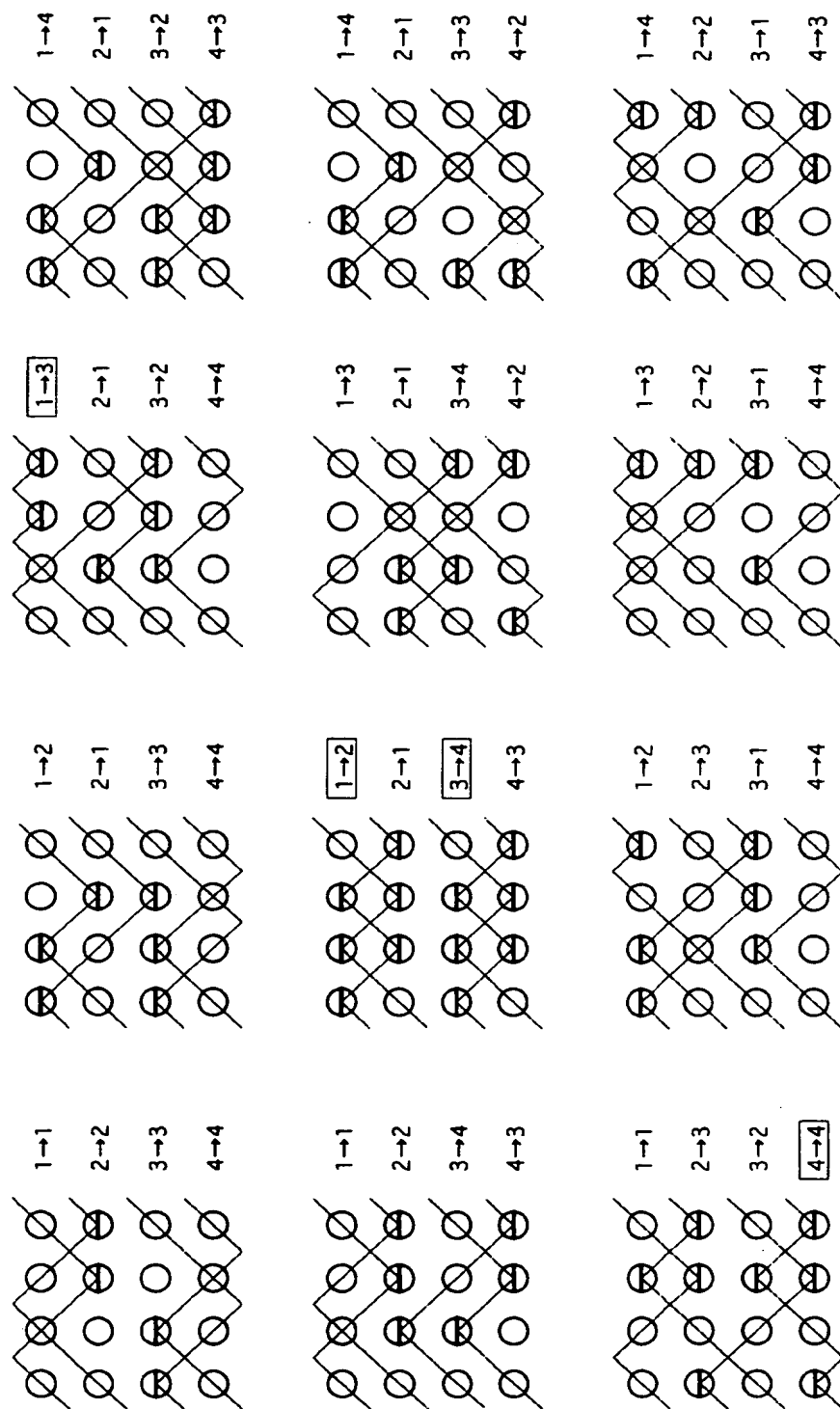
【図3】



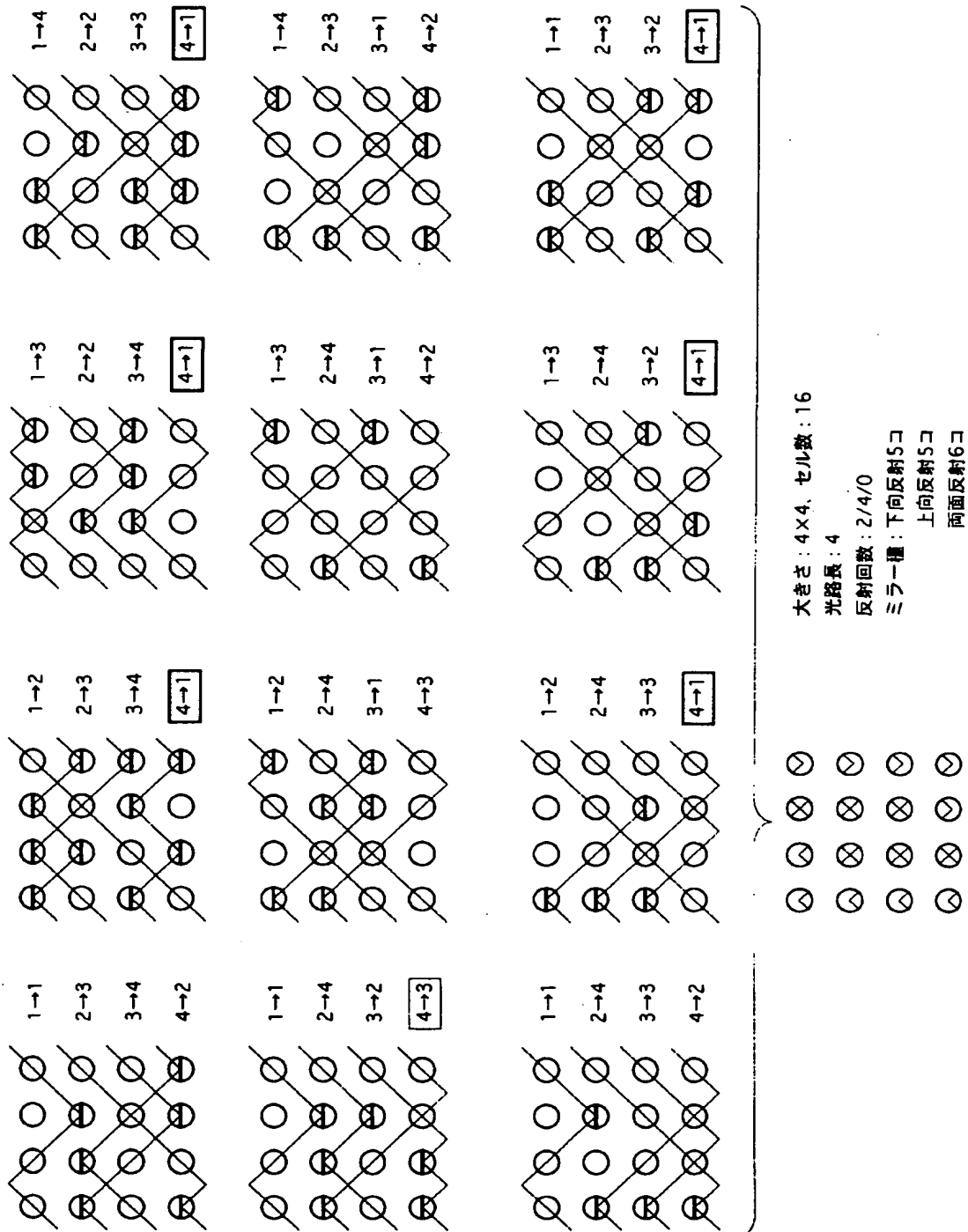
【図 4】



【図 5】

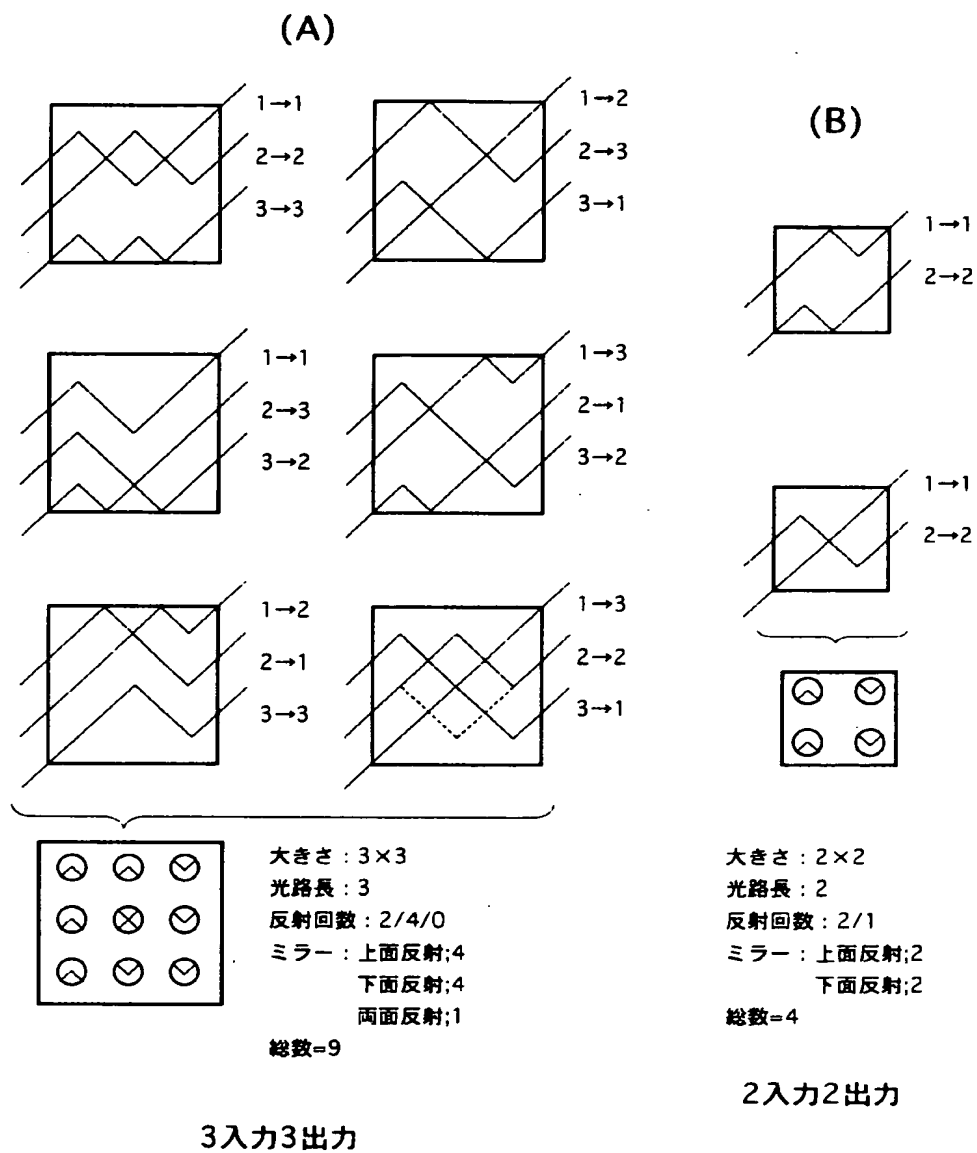


【図 6】

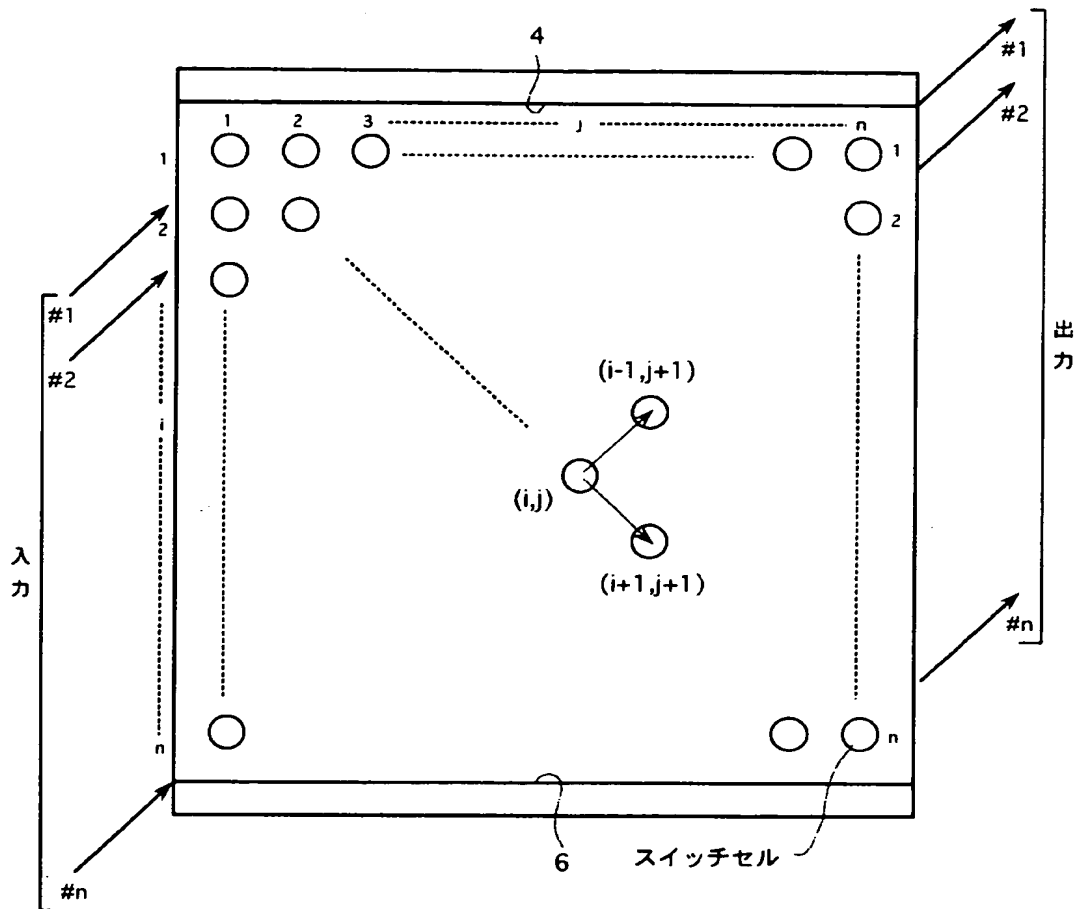




【図 7】



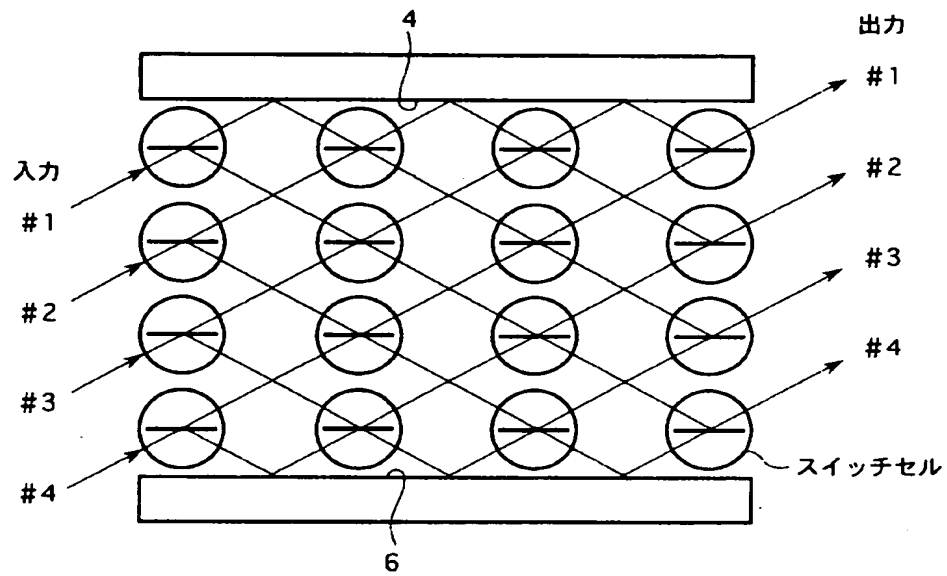
【図 8】



スイッチセル数

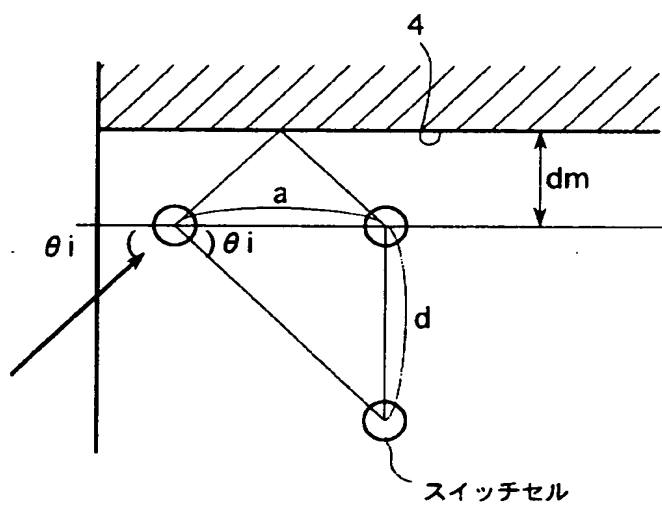
上面反射 :  $n+1$   
 下面反射 :  $n+1$   
 両面反射 :  $n^2-2n-2$   
 総数 :  $n^2$

【図9】



入射角度  $30^\circ$  の場合

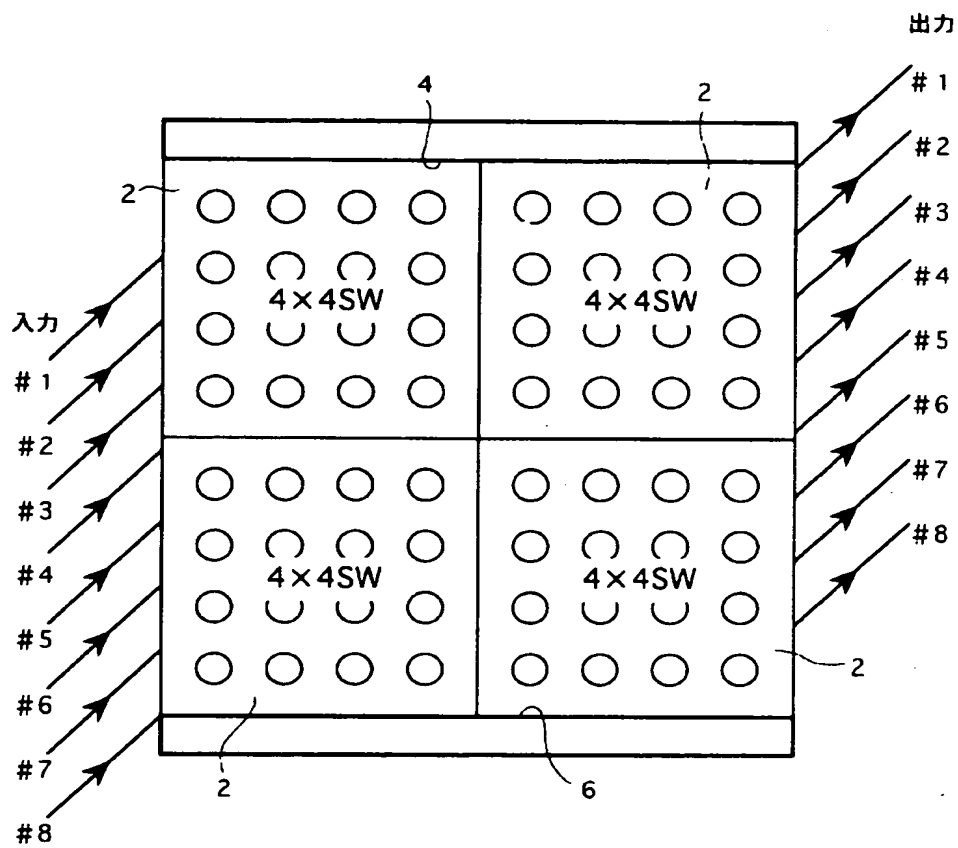
【図 10】



$$d = a \cdot \tan \theta_i$$

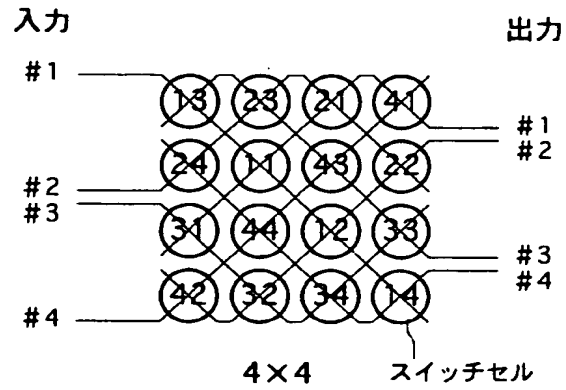
$$dm = 1/2 \cdot a \cdot \tan \theta_i$$

【図 11】

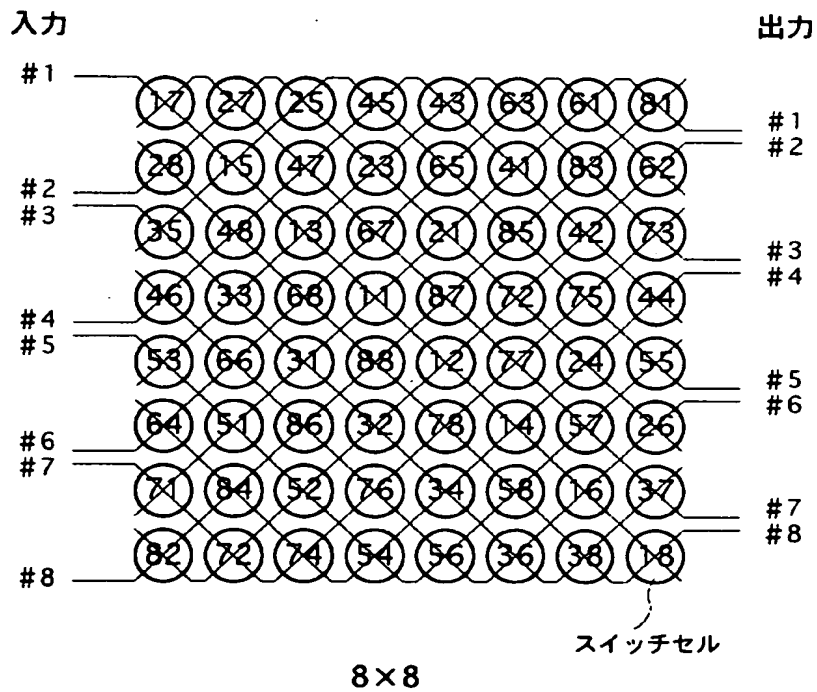


【図 12】

(A)

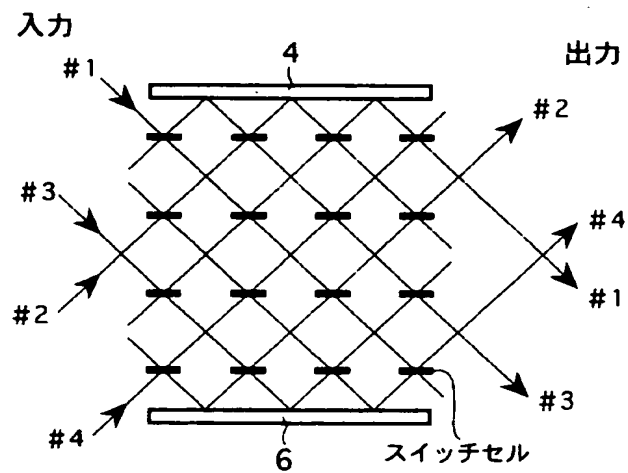


(B)

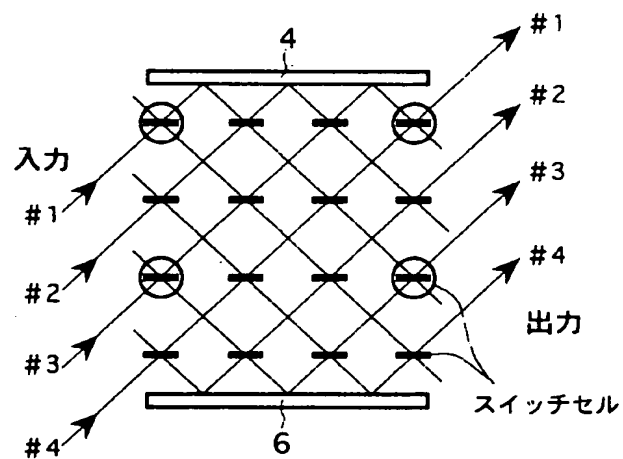


【図 13】

(A)

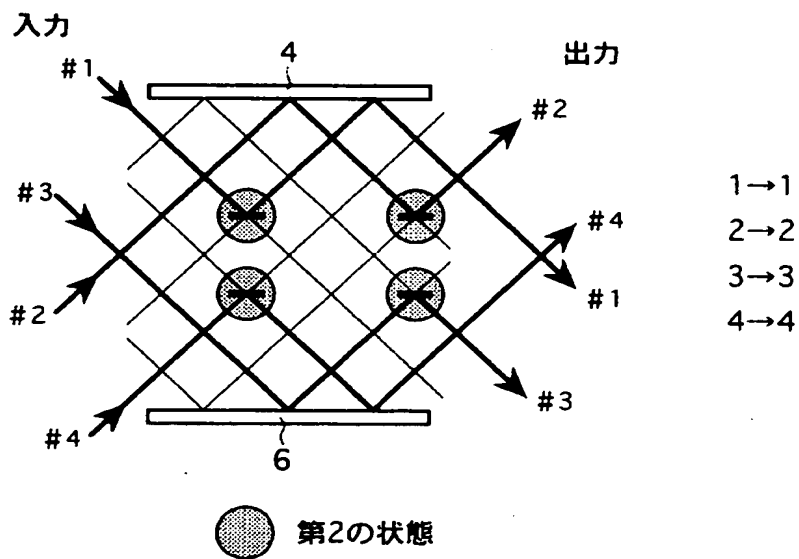


(B)

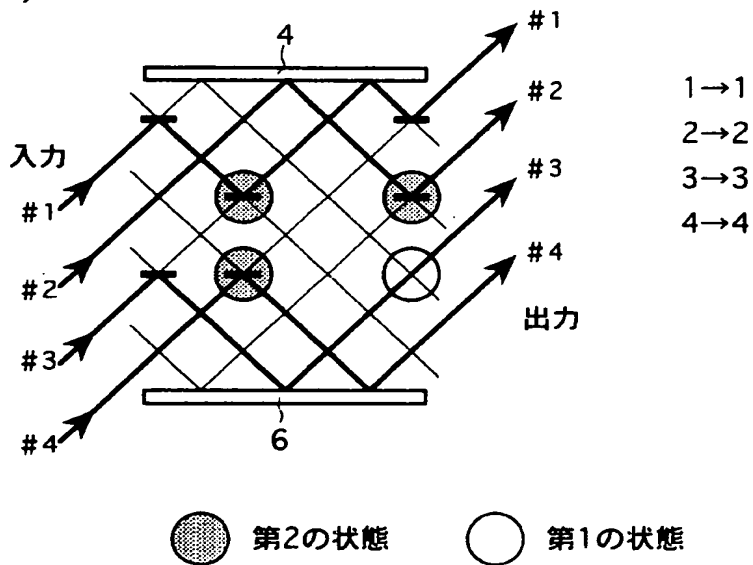


【図 14】

(A)

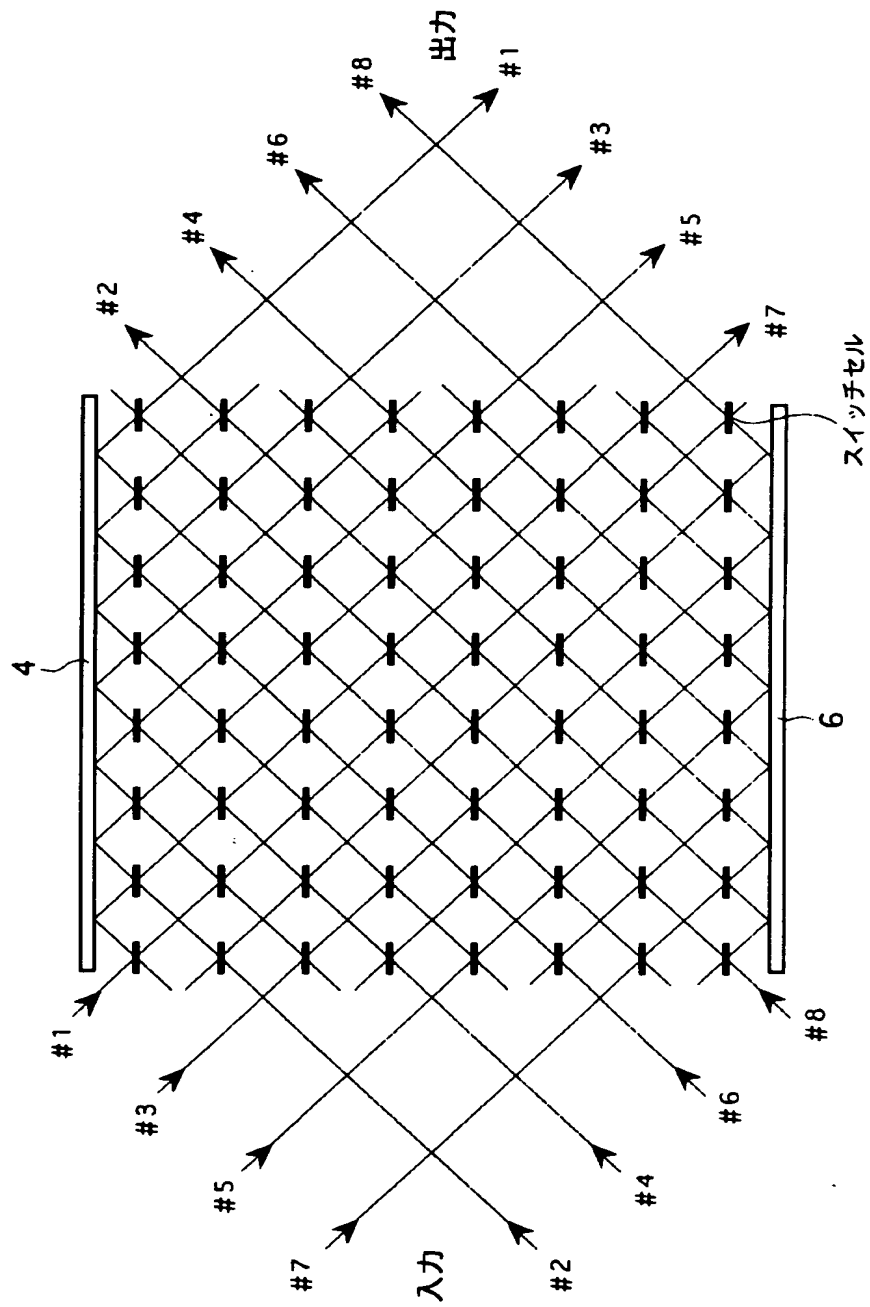


(B)

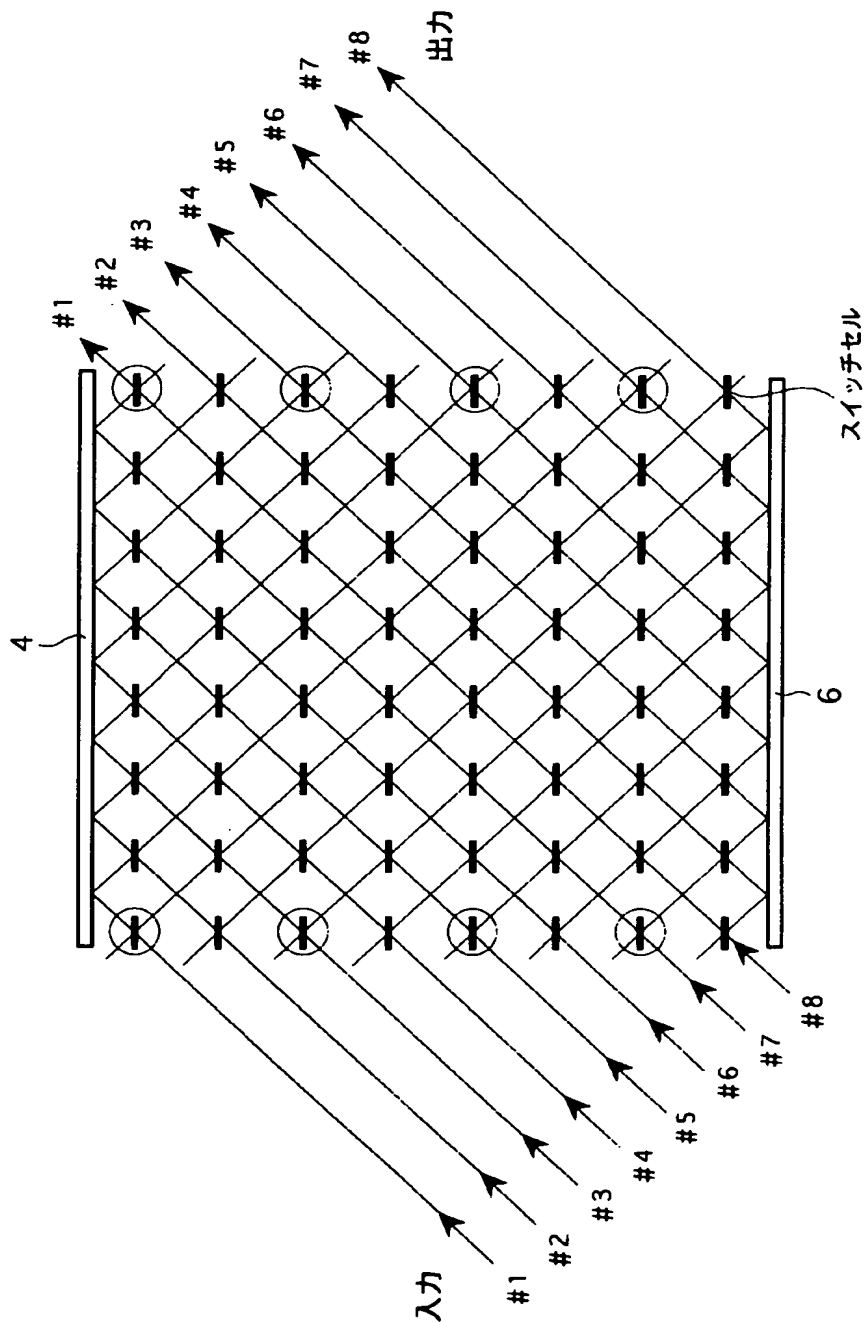




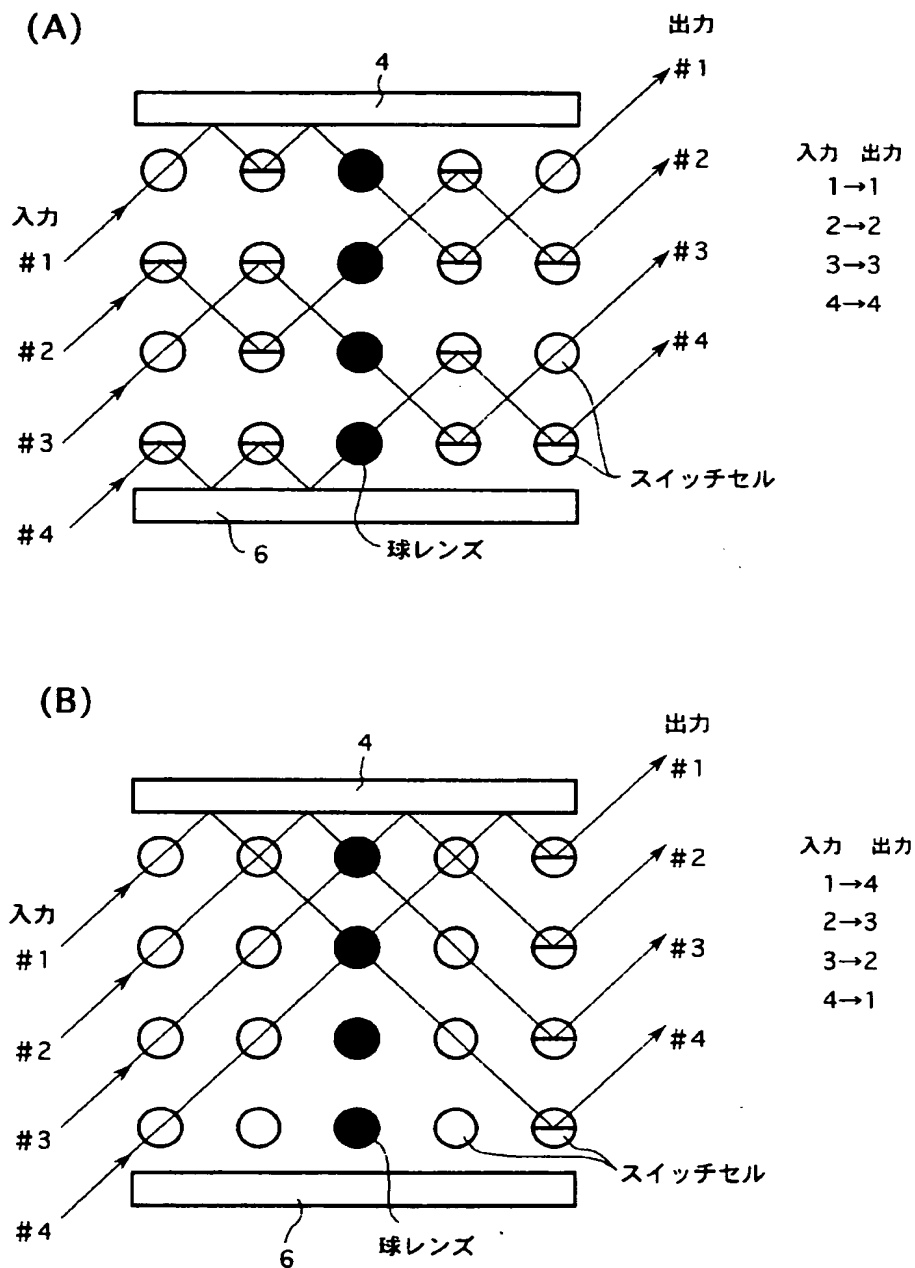
【図15】



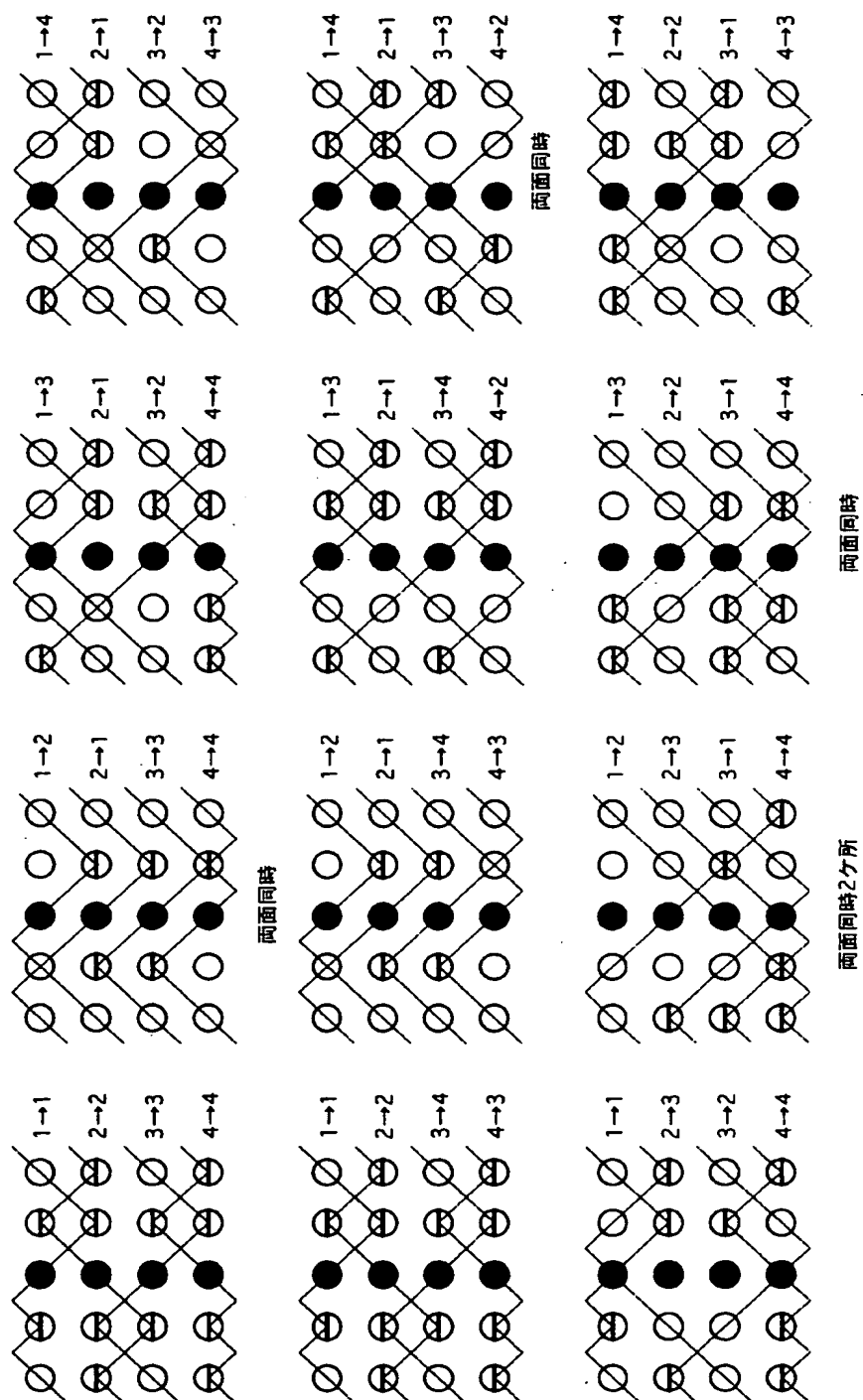
【図 16】



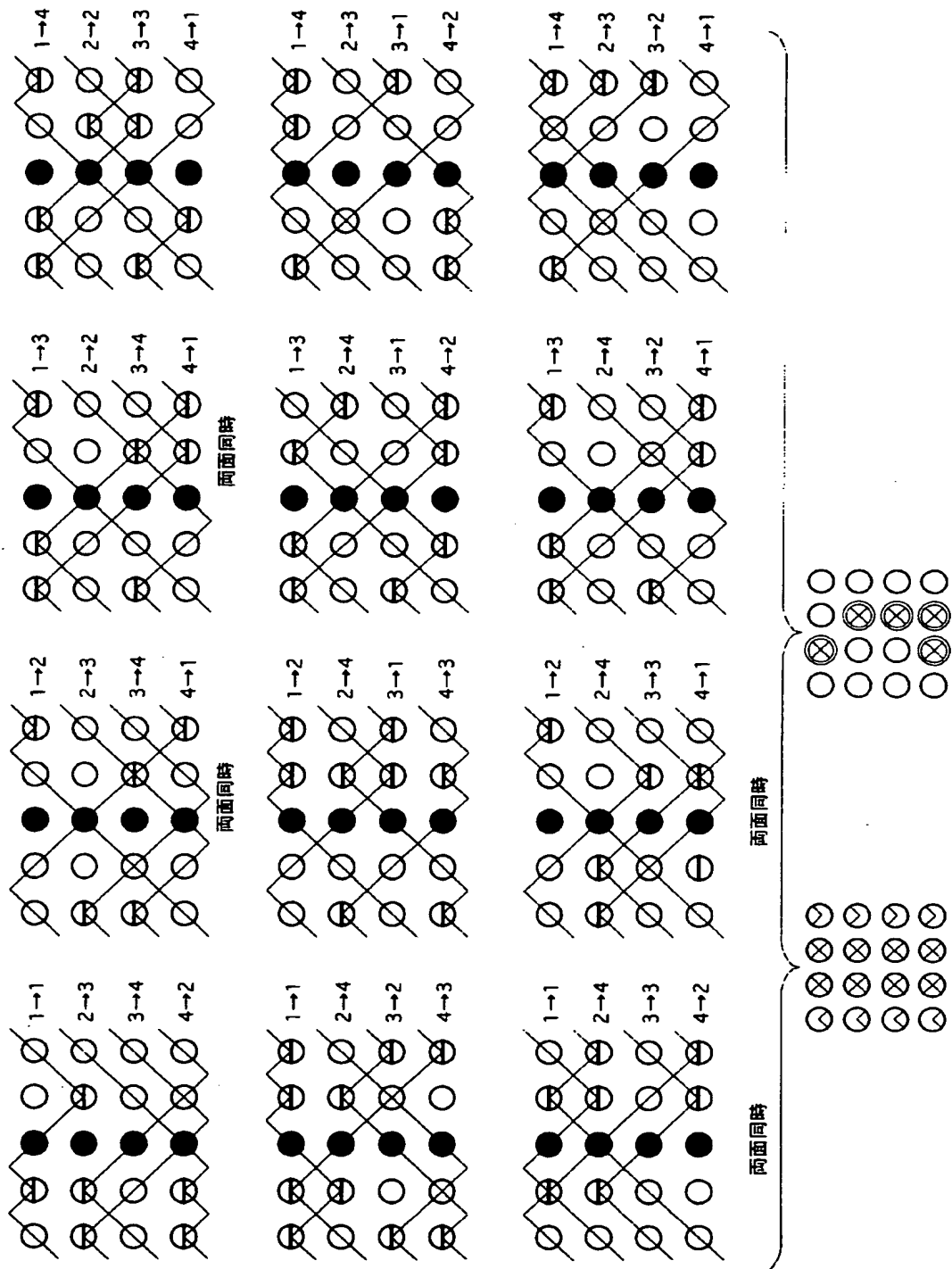
【図 17】



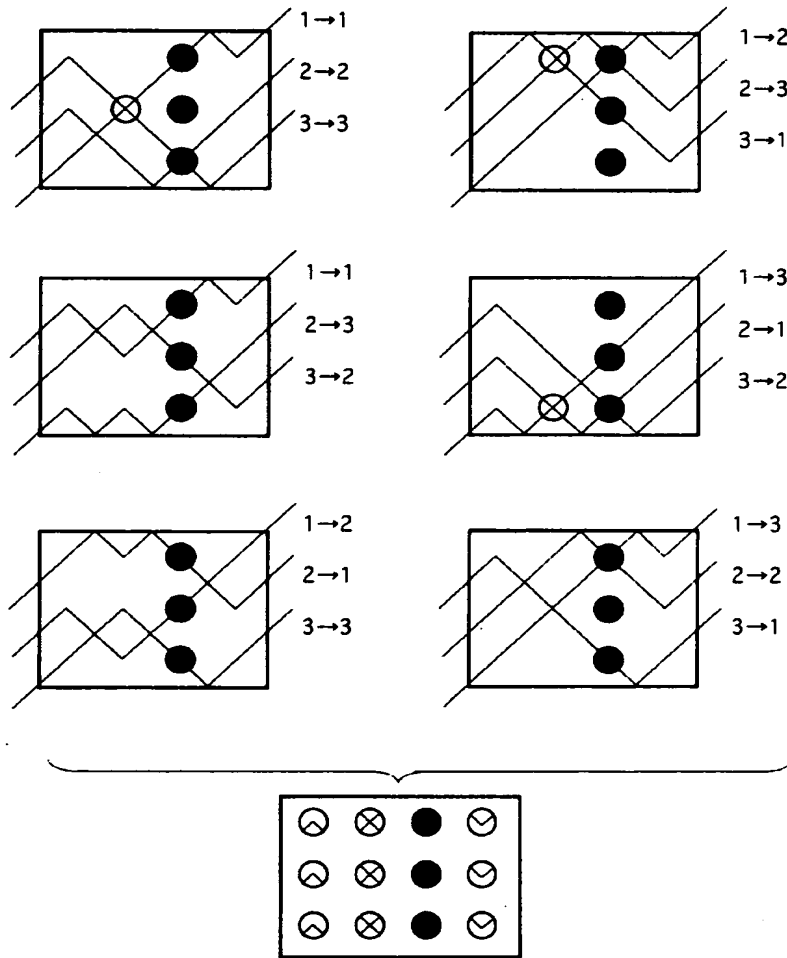
【図18】



【図 19】

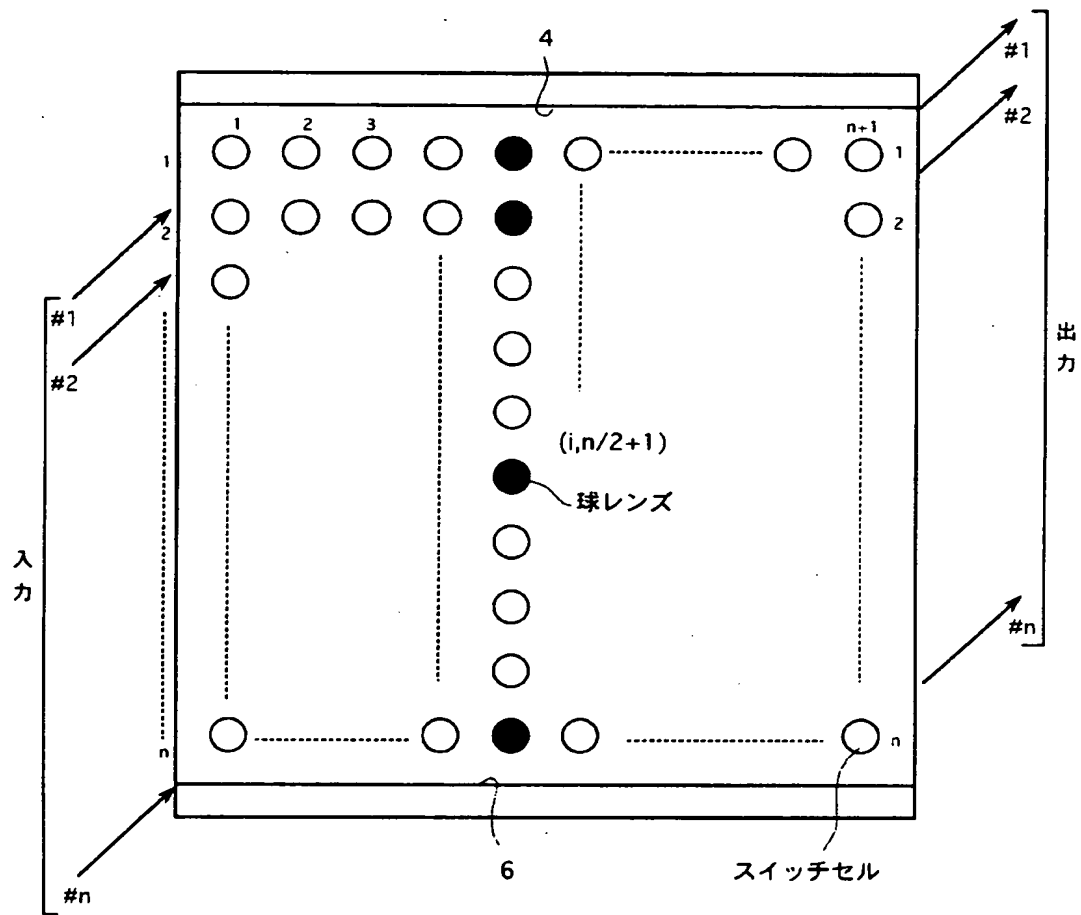


【図 20】

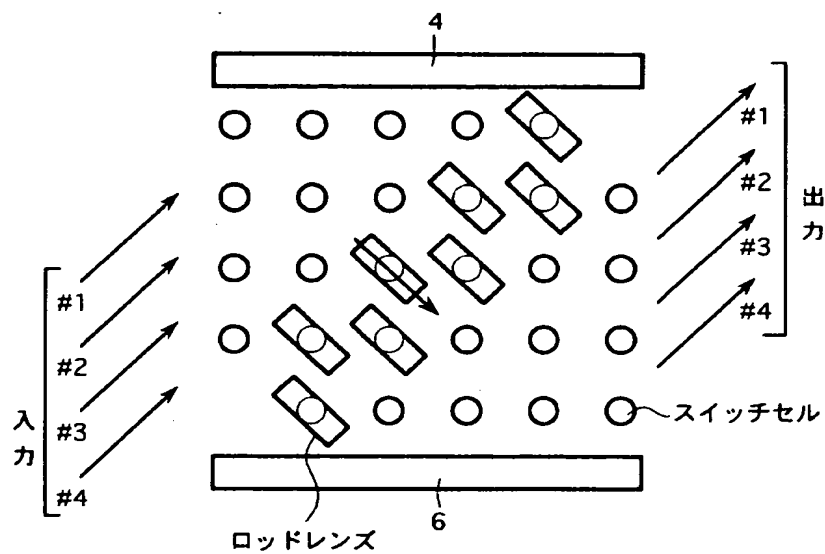


⊗ : 両面同時ミラー

【図 21】

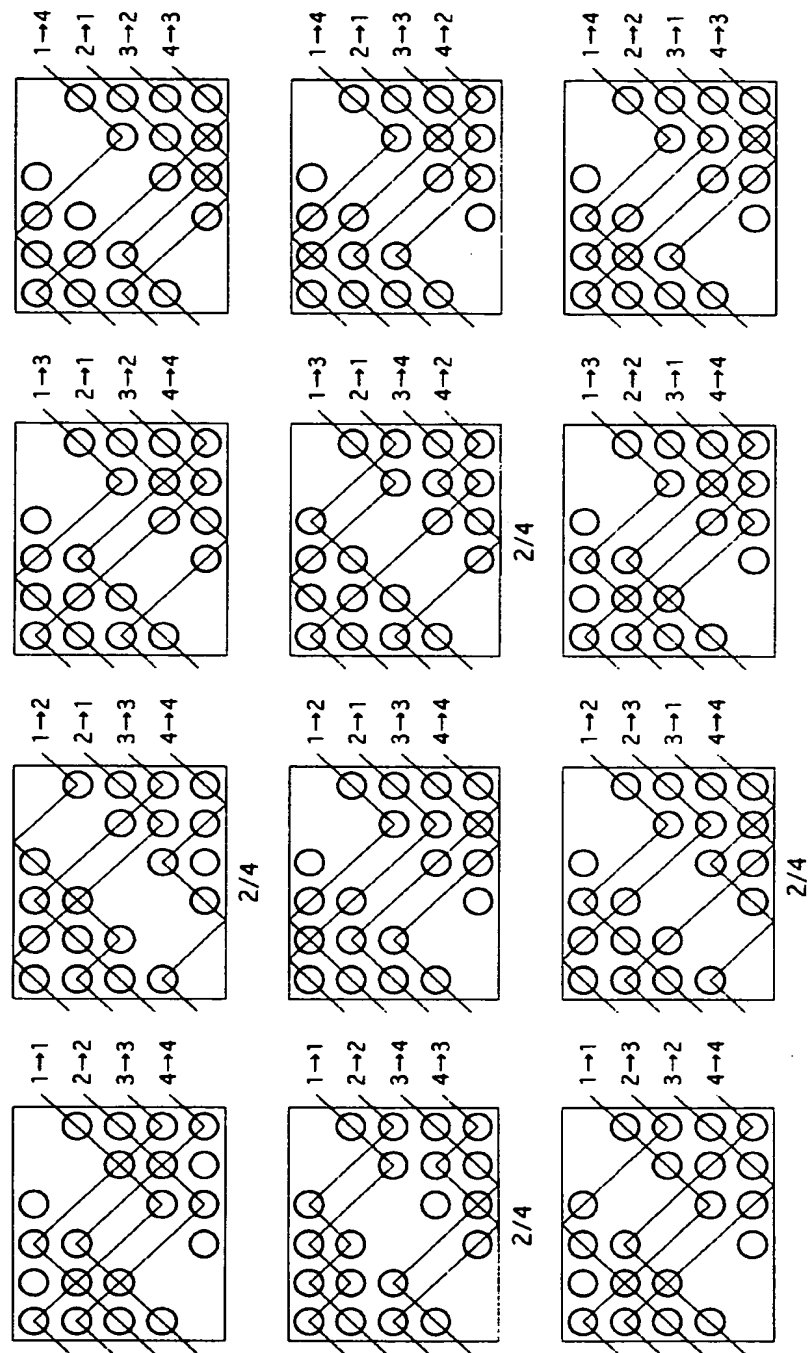


【図 22】

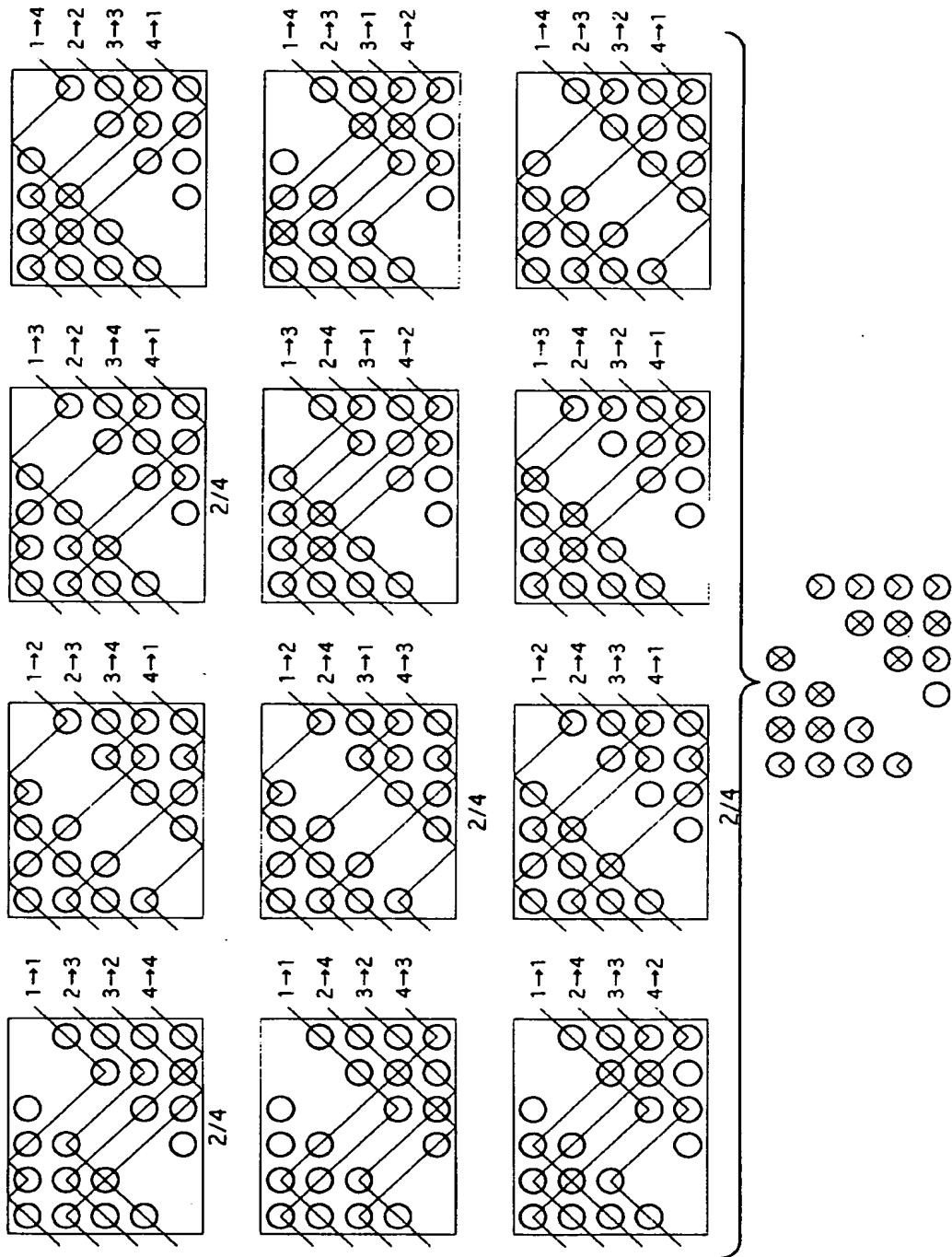




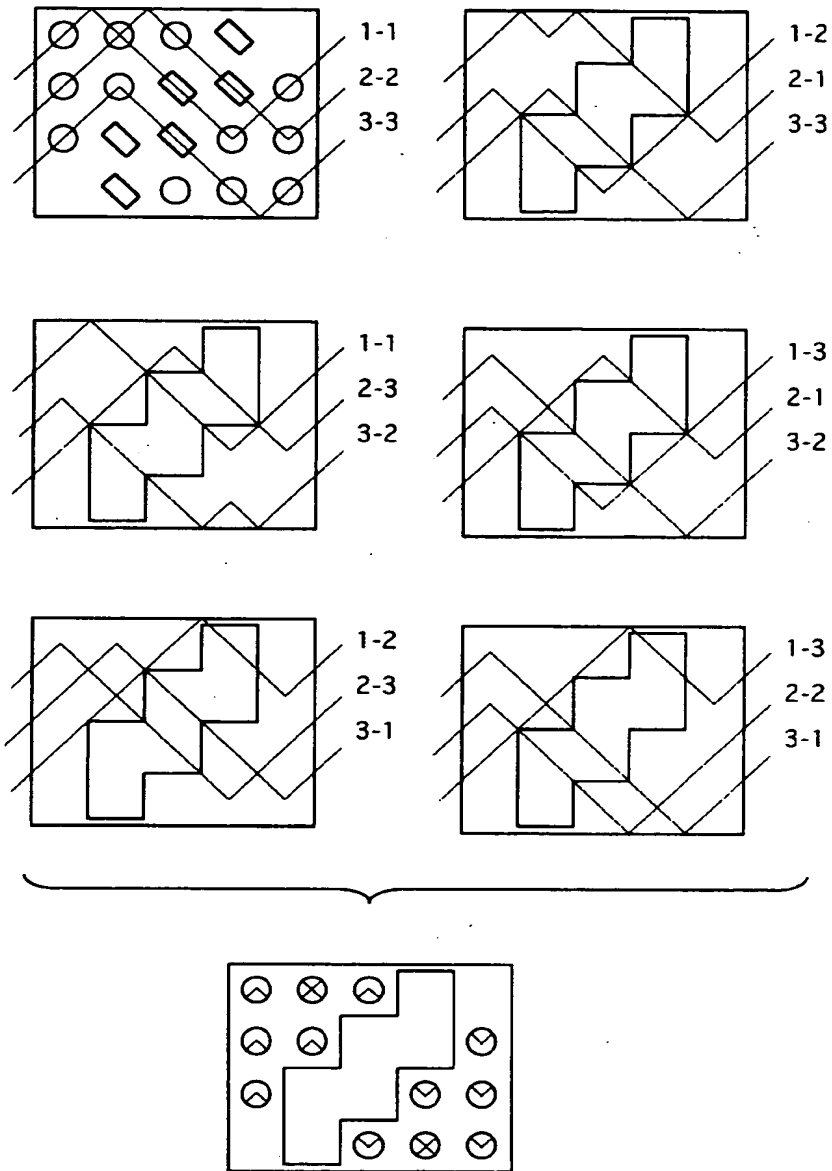
【図 23】



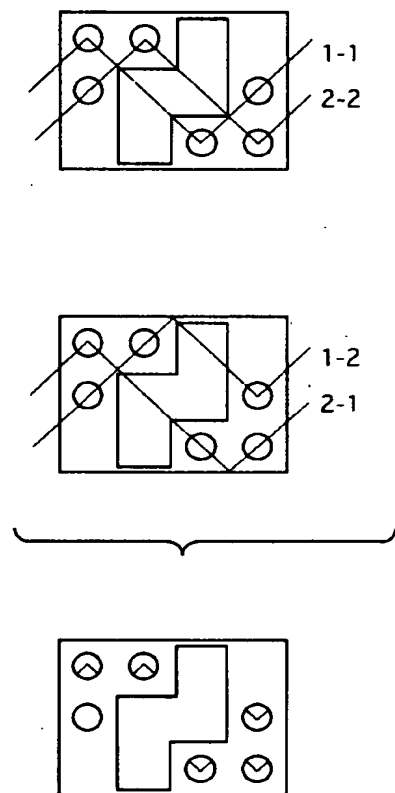
【図 24】



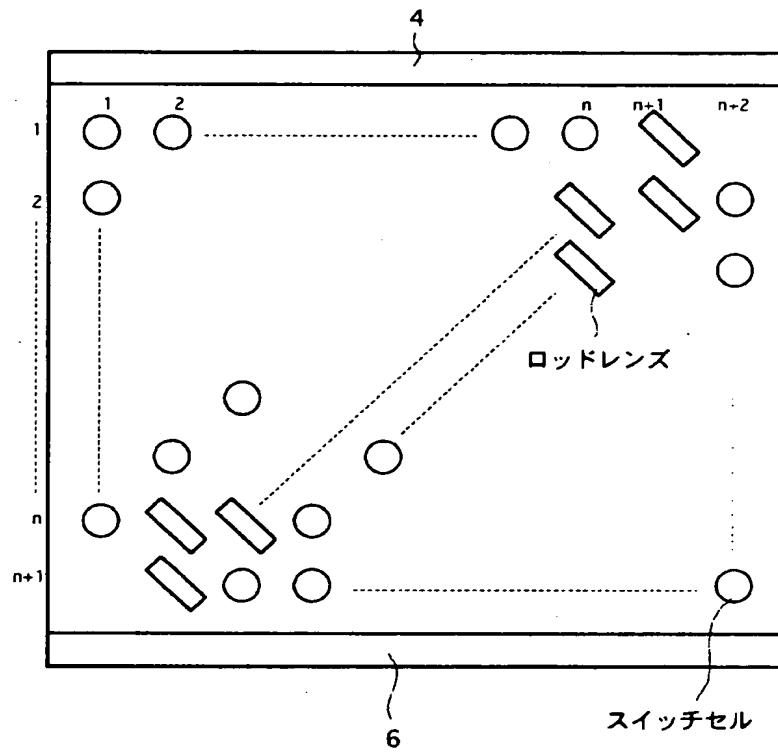
【図 25】



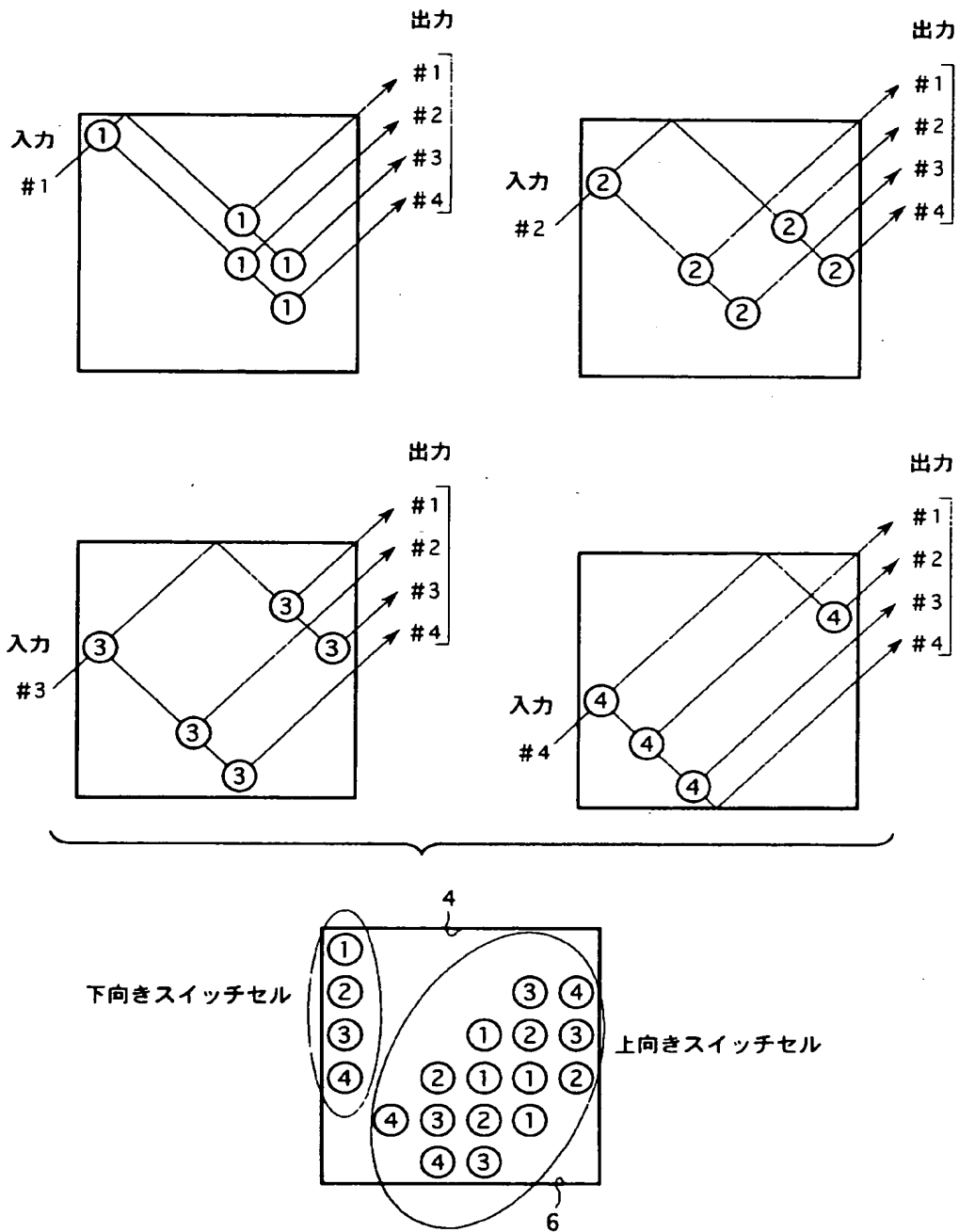
【図 26】



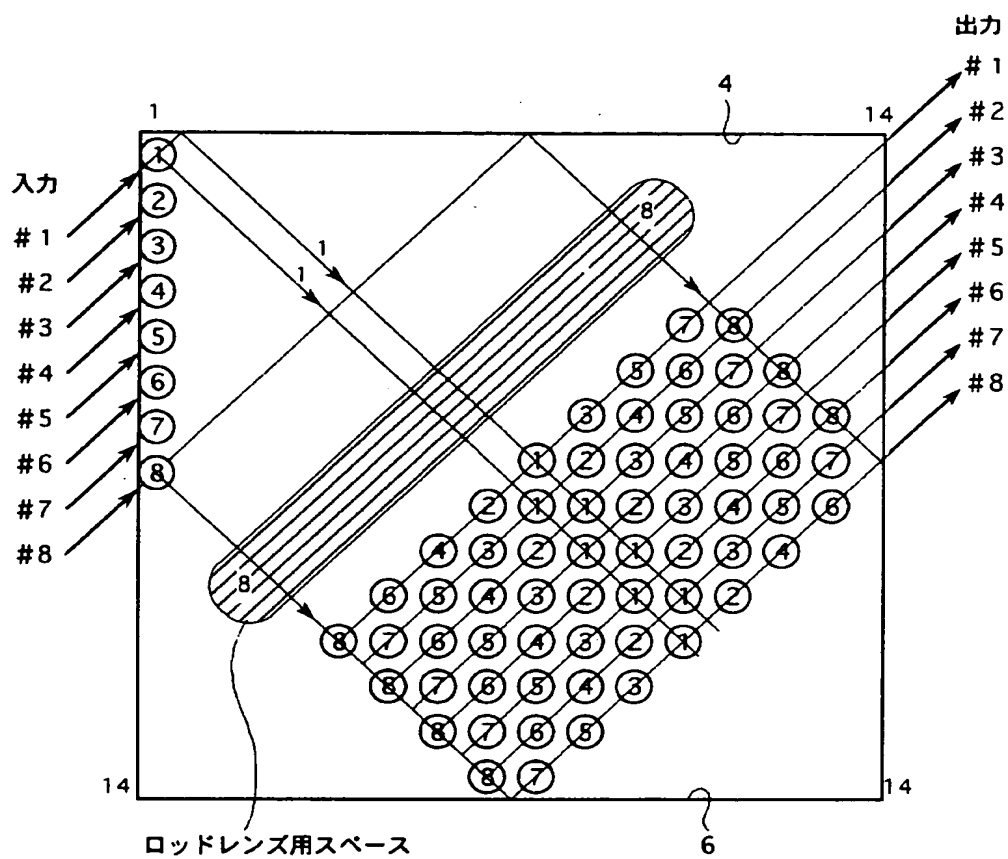
【図 27】



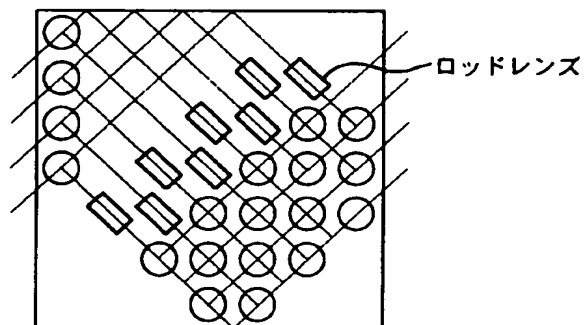
【図 28】



【図 29】



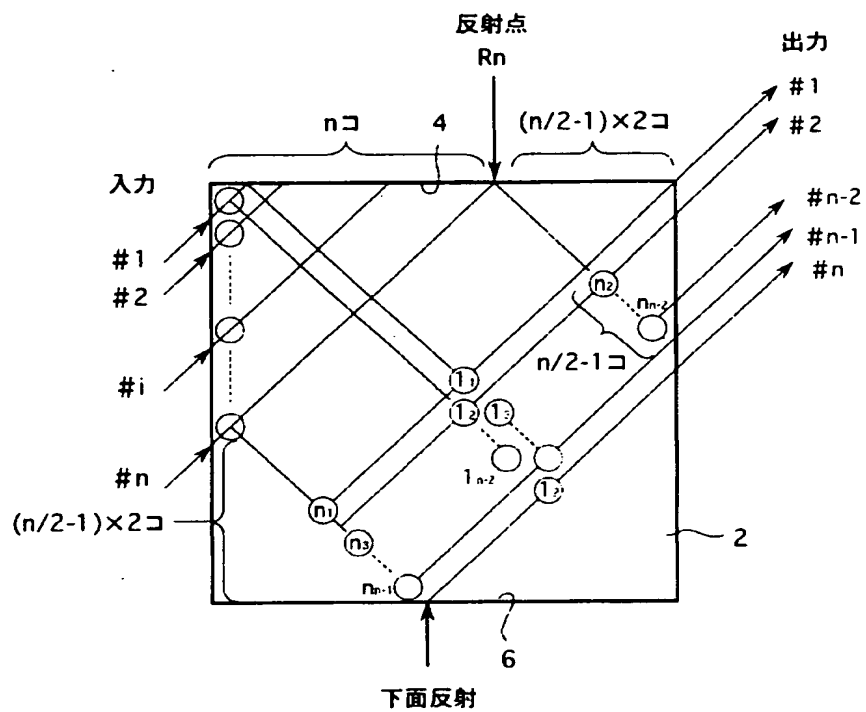
【図 30】



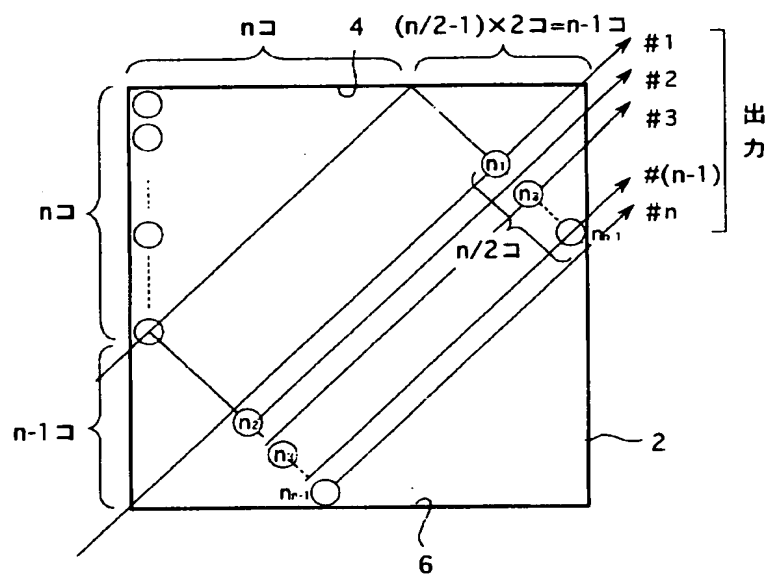




【図 3 2】

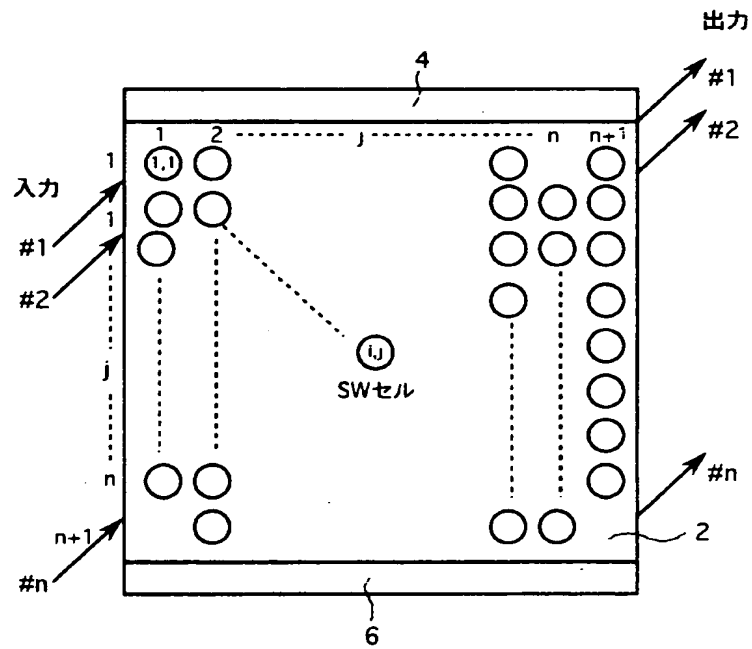


【図 33】

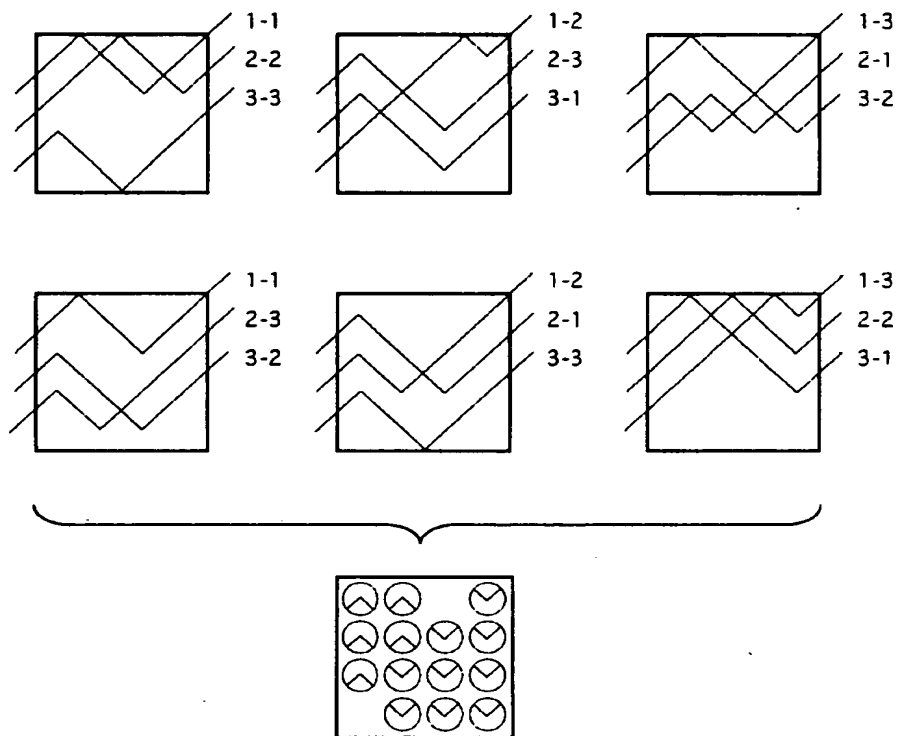




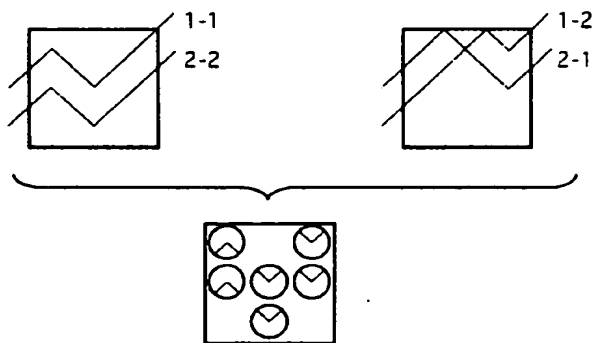
【図 35】



【図 36】

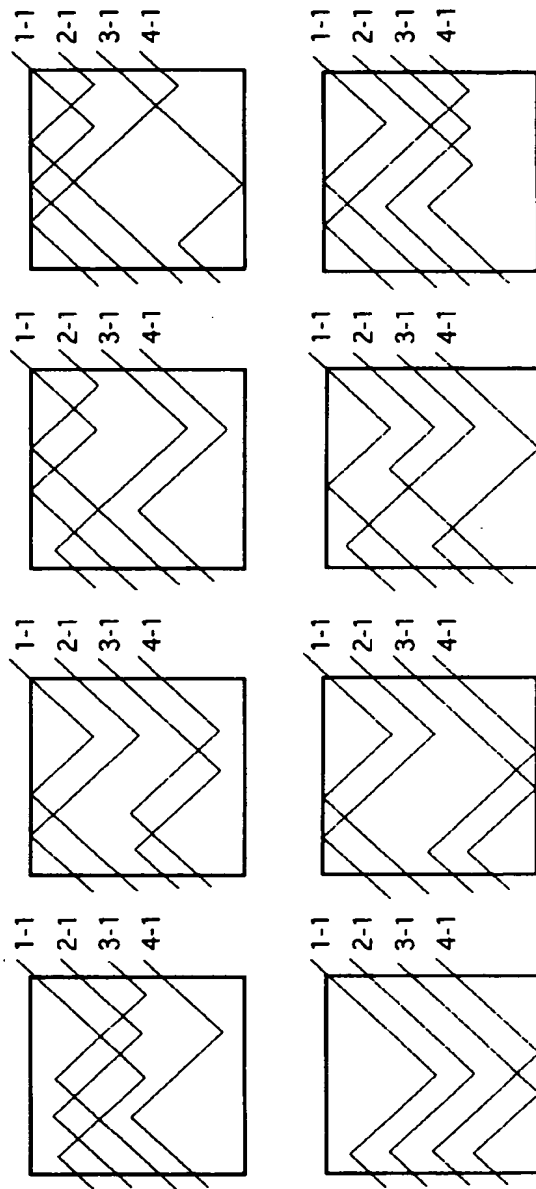


【図 37】



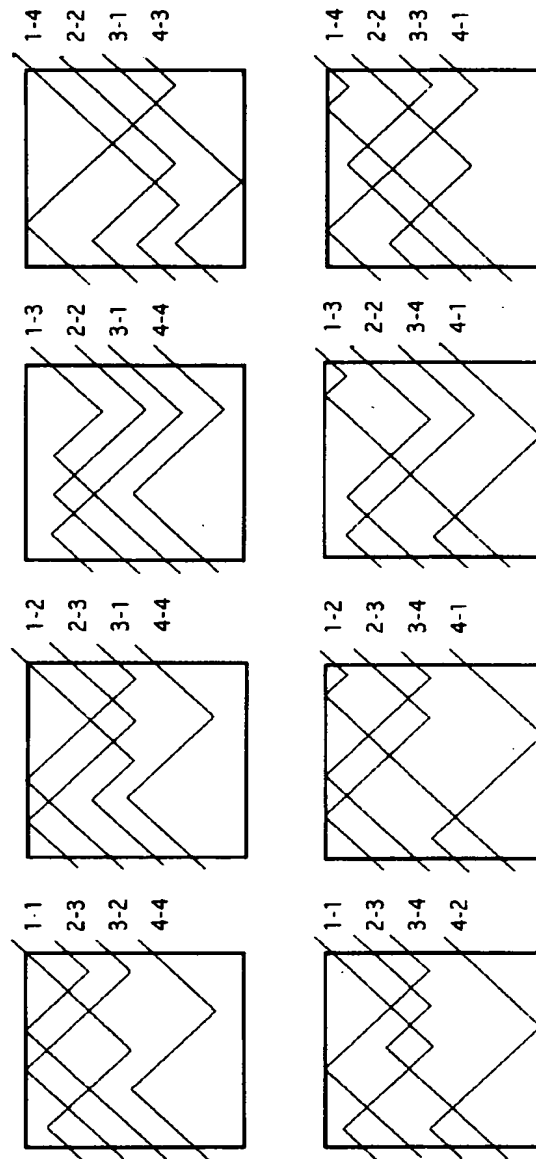
2入力2出力  
 スペース：3×3  
 光路長：3  
 セル数：6  
 上面反転：4  
 下面反転：2  
 反対回数：必ず2回

【図 38】

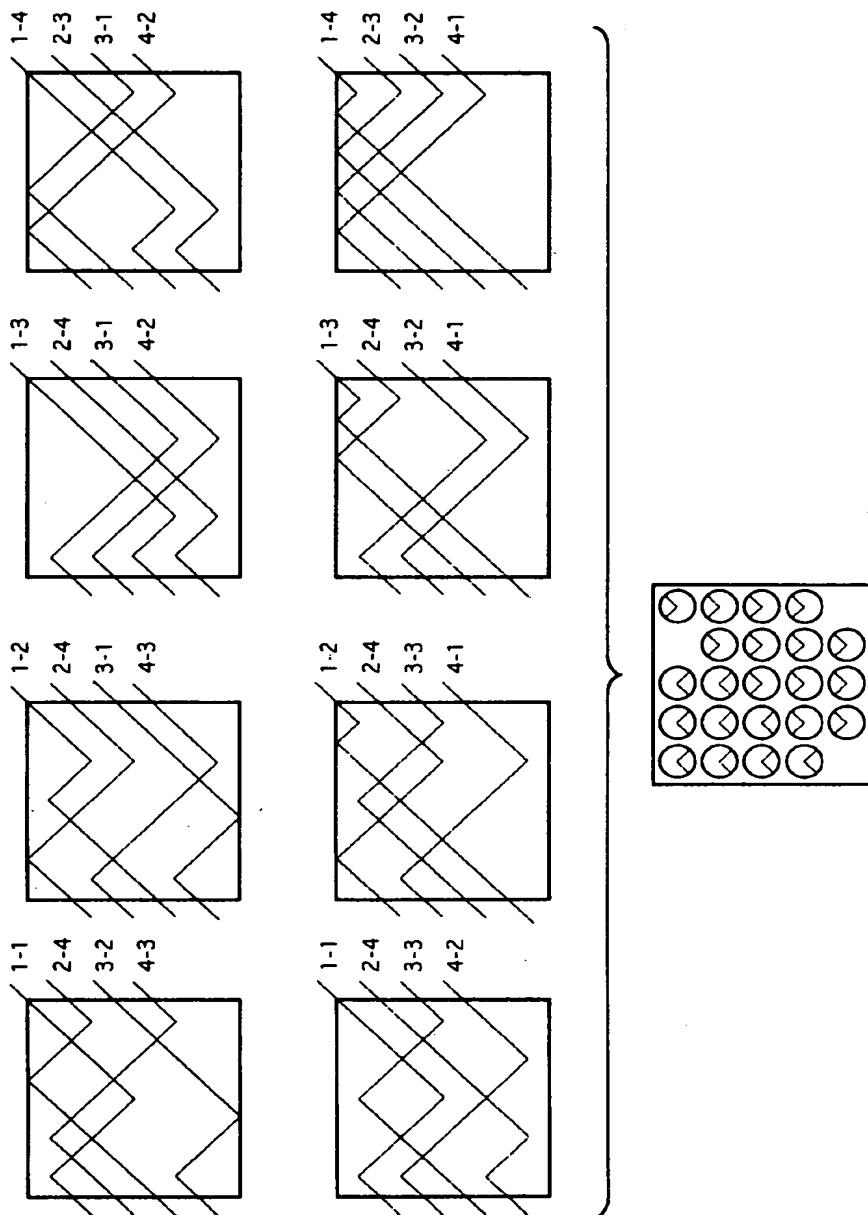




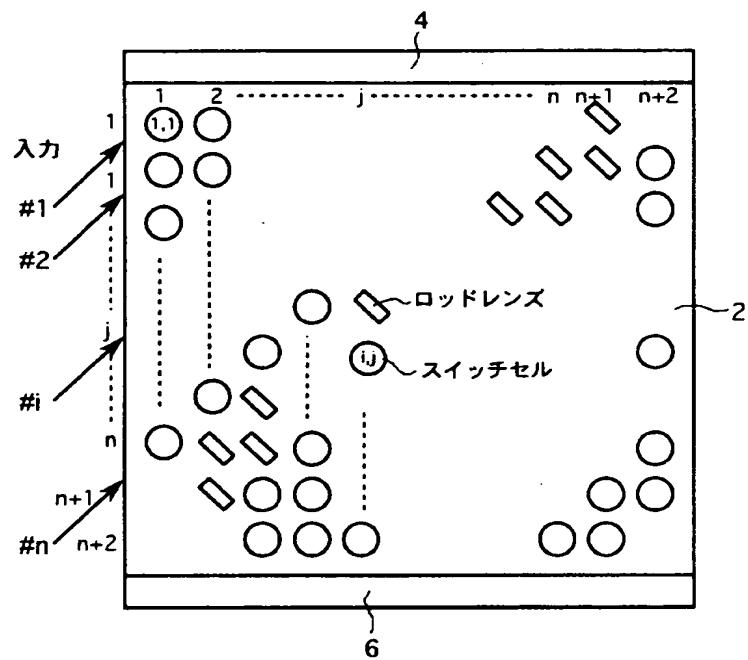
【図 39】



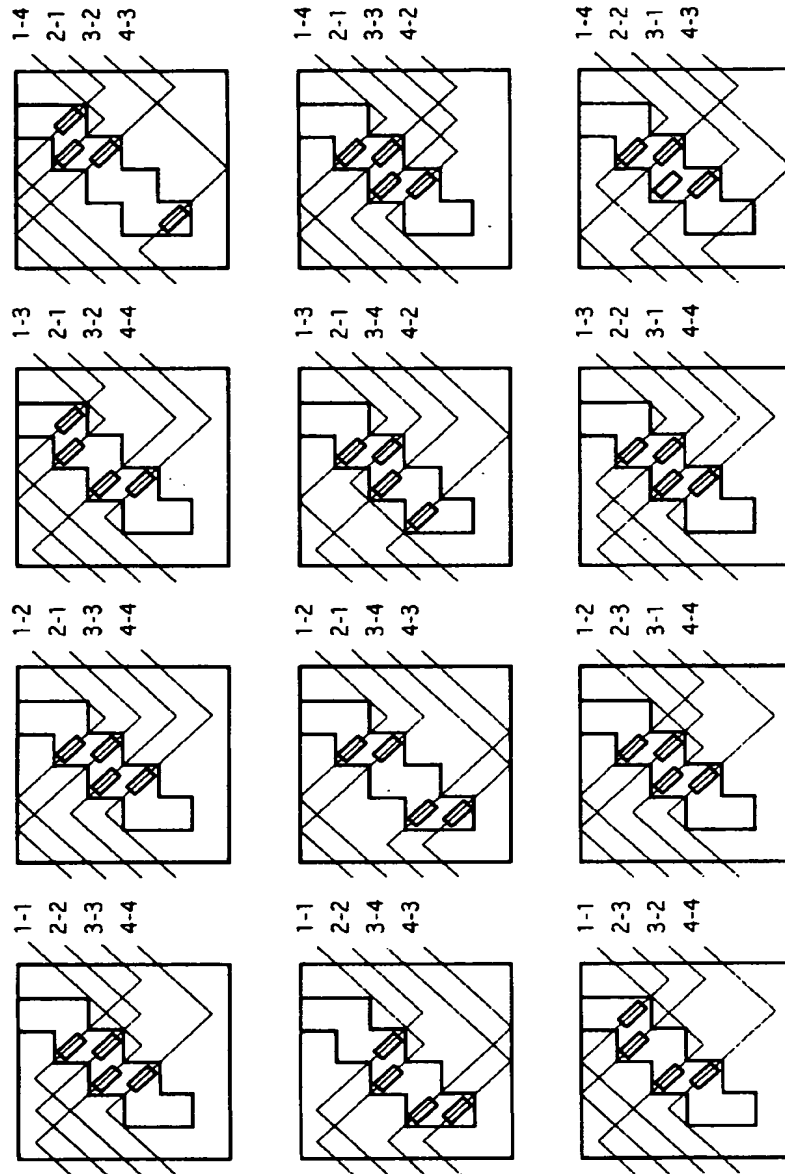
【図 40】



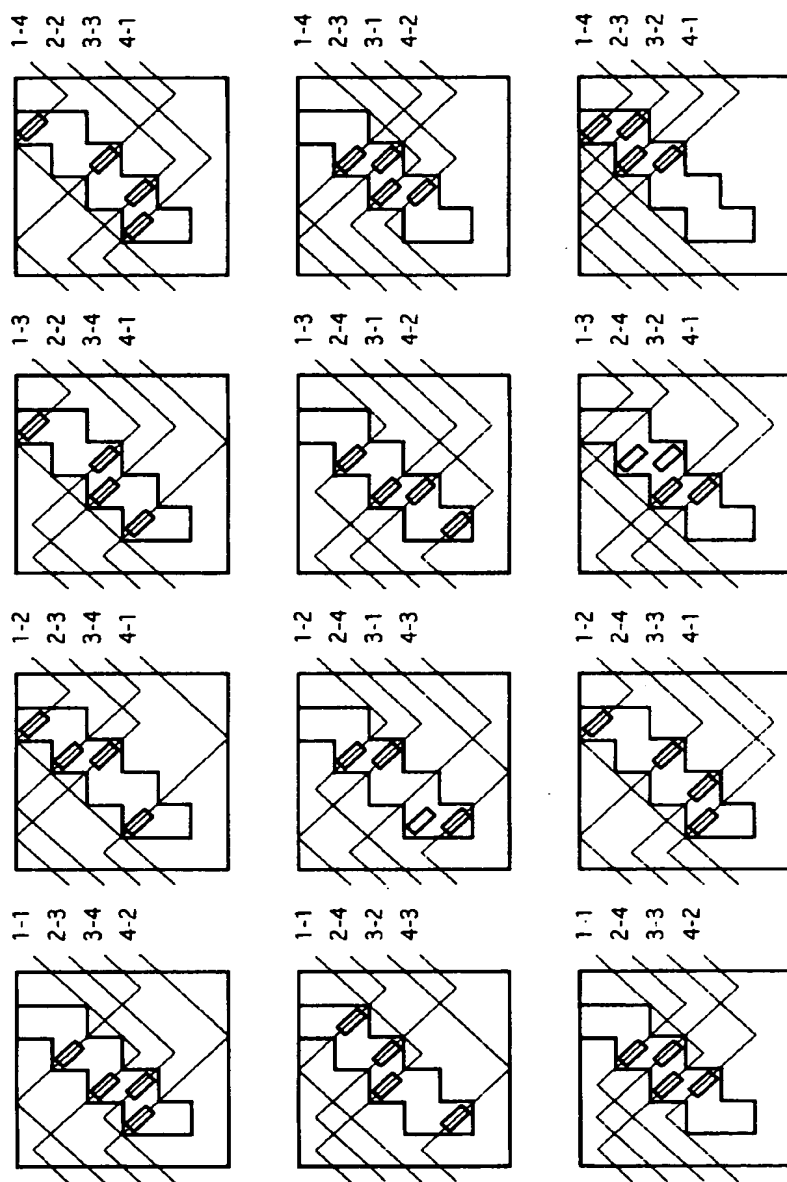
【図 4 1】



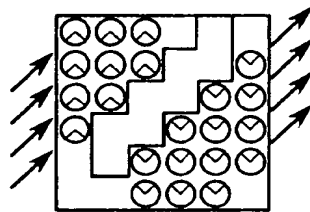
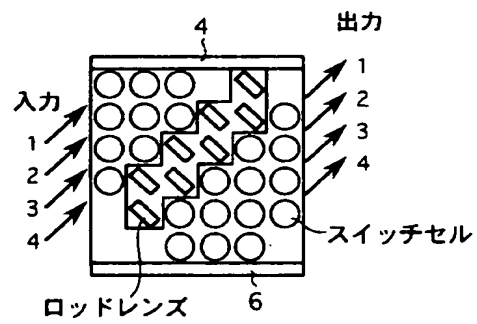
【図 4 2】



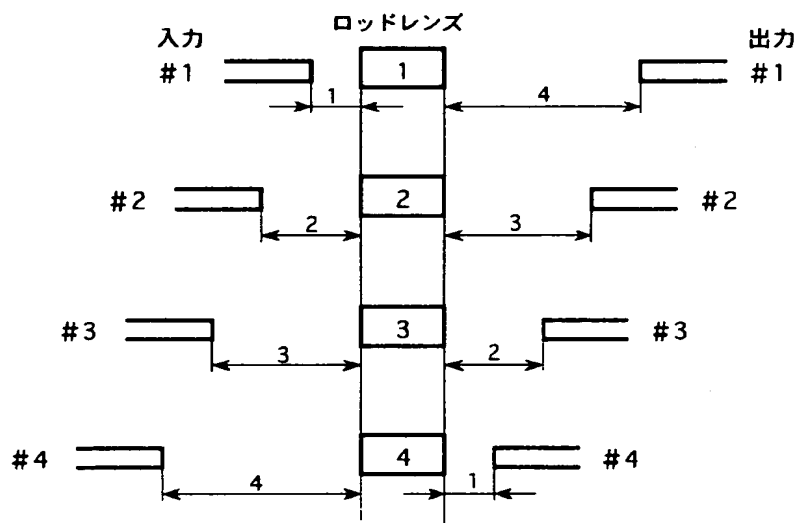
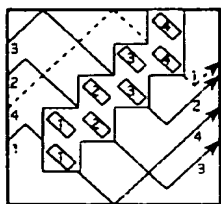
【図43】



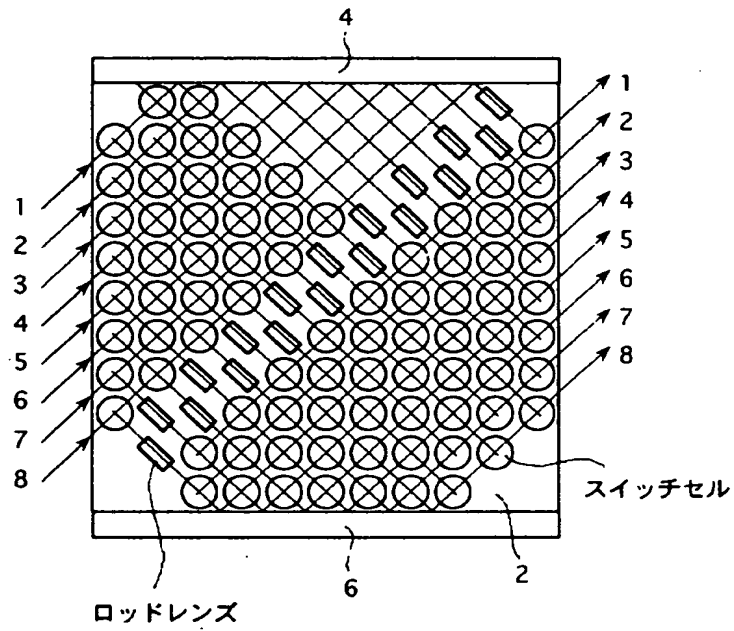
【図 4 4】



【図 45】

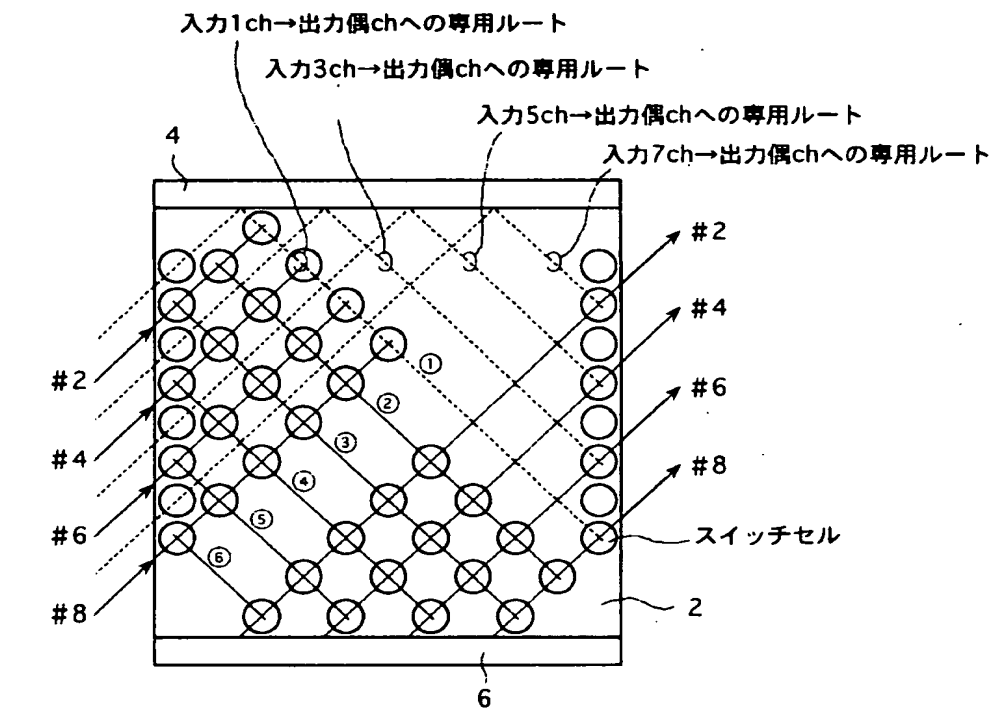


【図 4 6】





【図 4 7】

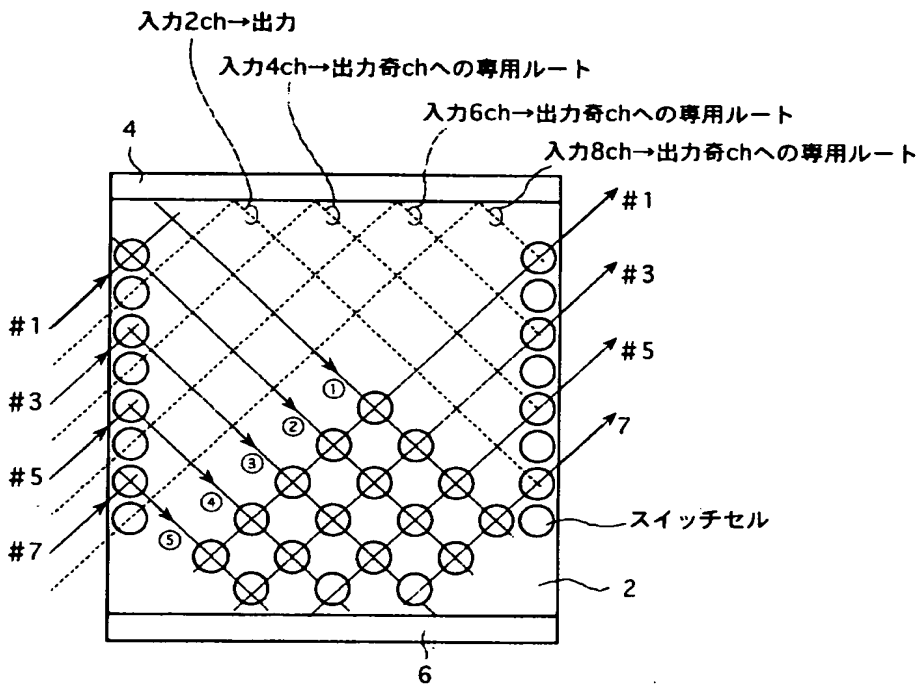


- ①, ②, ③ : 出力2, 4, 6, 8chへのルート  
 ④ : 出力2, 4, 6chへのルート  
 ⑤ : 出力2, 4chへのルート  
 ⑥ : 出力2chへのルート

入力チャンネル	出力偶chへのルート
2	①/②/③
4	①/②/③, ④
6	①/②/③, ④, ⑤
8	①/②/③, ④, ⑤, ⑥

入力チャンネル	出力チャンネル	
2	→ 2	① or ② or ③
4	→ 4	① or ② or ③
6	→ 6	④
8	→ 8	① or ② or ③

【図 4 8】

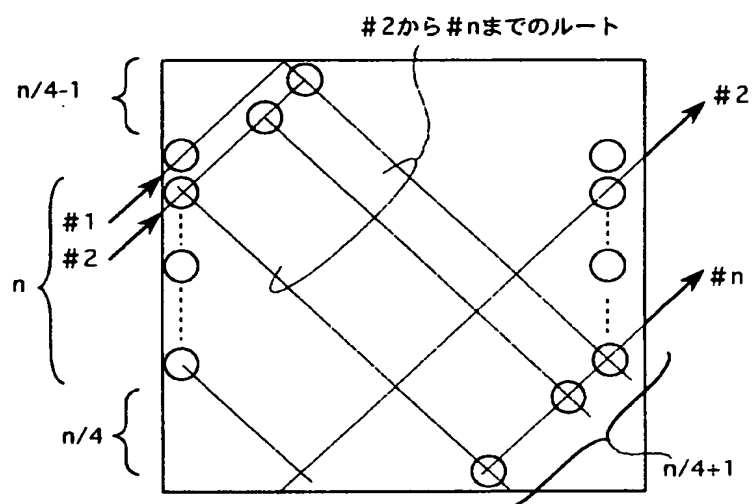


- ①, ② : 出力1、3、5、7chへのルート  
 ③ : 入力chが3以上で支えるルートで  
 出力1、3、5、7chへのルート  
 ④ : 出力1、3、5chへのルート  
 ⑤ : 出力1、3chへのルート

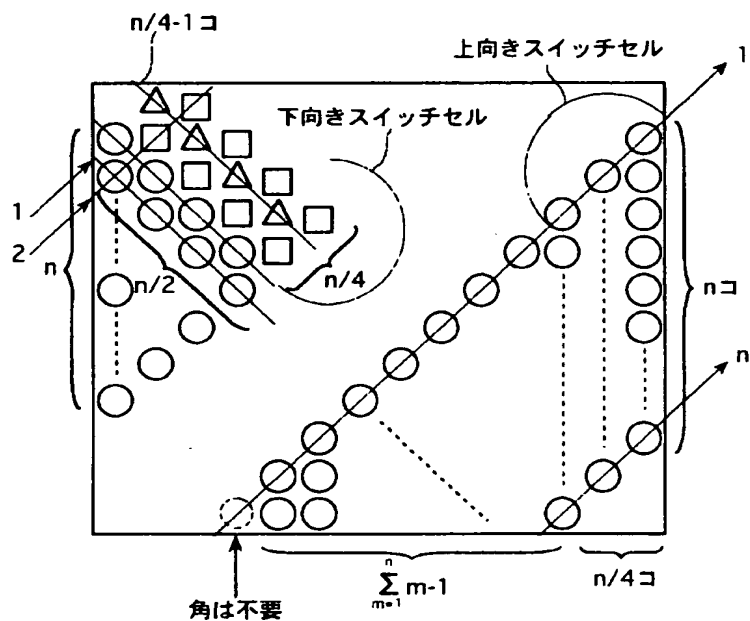
入力チャンネル	出力偶chへのルート
1	①/②
3	①/②, ③
5	①/②, ③, ④
7	①/②, ③, ④, ⑤

入力チャンネル	出力チャンネル	ルート
1	→ 1	① or ②
3	→ 3	③
5	→ 5	④
7	→ 7	① or ②

【図 4 9】



【図50】

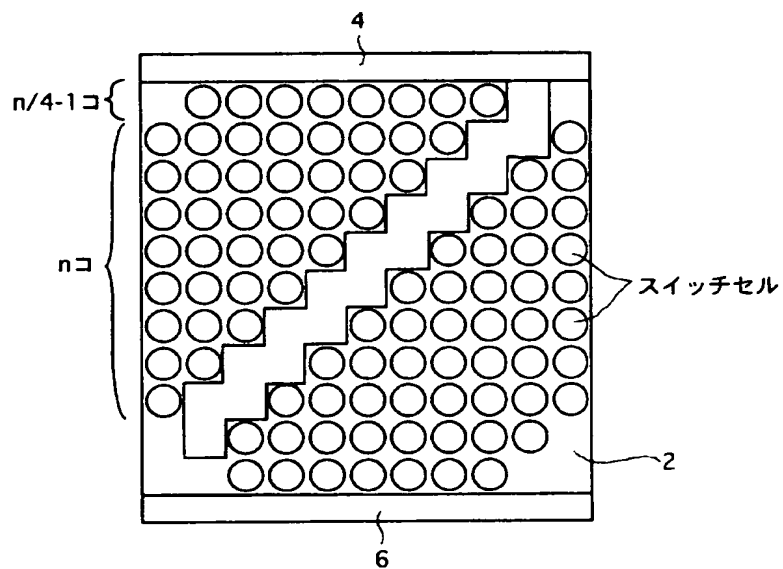


$$\text{上向きスイッチセル: } \sum_{m=1}^n m-1 + \frac{n}{4} \times n = \frac{n(n+1)}{2} - 1 + \frac{n^2}{4} = \frac{3}{4}n^2 + \frac{1}{2}n - 1$$

$$\text{下向きスイッチセル: } \underbrace{2 \cdot \sum_{m=1}^{n/2} m}_{\text{図中左上の( )}} + \underbrace{\frac{n}{4} \times \frac{n}{2}}_{\text{図中の } \square} + \underbrace{\left(\frac{n}{4} - 1\right) \times \frac{n}{2}}_{\text{図中の } \triangle} = \frac{n^2}{2}$$

$$\text{全スイッチセル: } \frac{5}{4}n^2 + \frac{1}{2}n - 1$$

【図 51】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 本発明は光スイッチに関し、損失にパス依存性がない光スイッチの提供が主な課題である。

【解決手段】 本発明によると、複数のスイッチセルを備えた光スイッチが提供される。光スイッチは  $n$  ( $n$  は自然数) の入力と  $m$  ( $m$  は自然数) の出力とを有し、また、光スイッチは隣り合う二つのスイッチセル間の距離として定義される単位サイズを有する。光スイッチは、 $K \cdot L$  ( $K$  は  $n \leq K$  を満たす整数、 $L$  は  $m \leq L$  を満たす整数) のスイッチサイズを有する基板と、基板の主面に対して垂直で且つ互いに平行な第 1 及び第 2 のミラーと、第 1 及び第 2 のミラーに対して傾斜した入力のための複数の入力光路並びに第 1 及び第 2 のミラーに対して傾斜した出力のための複数の出力光路を提供する光学ユニットとを備えている。各スイッチセルは基板に対して可動的に設けられたスイッチミラーを含む。この構成によると、パス依存性が実質的になくなる。

【選択図】 図 3

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005223]

1. 変更年月日 1996年 3月26日  
[変更理由] 住所変更  
住 所 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号  
氏 名 富士通株式会社